



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Determinación y caracterización de macroplásticos en arenas de la Playa de Jambelí, provincia de El Oro

**CABRERA FAJARDO MARÍA CRISTINA
INGENIERA AMBIENTAL**

**ORTEGA TORRES GABRIELA SCARLETH
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Determinación y caracterización de macroplásticos en arenas de la
Playa de Jambelí, provincia de El Oro**

**CABRERA FAJARDO MARÍA CRISTINA
INGENIERA AMBIENTAL**

**ORTEGA TORRES GABRIELA SCARLETH
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

**Determinación y caracterización de macroplásticos en arenas de la
Playa de Jambelí, provincia de El Oro**

**CABRERA FAJARDO MARÍA CRISTINA
INGENIERA AMBIENTAL**

**ORTEGA TORRES GABRIELA SCARLETH
INGENIERA AMBIENTAL**

MOSQUERA MUÑOZ DENIS ALEXANDER

**MACHALA
2025**

CABRERA - ORTEGA DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MACROPLÁSTICOS EN ARENAS DE LA PLAYA DE JAMBELÍ, PROVINCIA DE EL ORO_final

3%
Textos sospechosos



< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: CABRERA - ORTEGA DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MACROPLÁSTICOS EN ARENAS DE LA PLAYA DE JAMBELÍ, PROVINCIA DE EL ORO_final.pdf
ID del documento: a1455252f33731c193e2172fb8420faec18d3ee1
Tamaño del documento original: 1,35 MB

Depositante: Mosquera Denis
Fecha de depósito: 24/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 24/7/2025

Número de palabras: 13.733
Número de caracteres: 89.296

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuente principal detectada

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 Documento de otro usuario #059f43 Viene de de otro grupo 6 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)

Fuente con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 www.ambientum.com Los peligros de la contaminación plástica y cómo comba... https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/los-peligros-de-la-contaminacion-plastica...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, CABRERA FAJARDO MARÍA CRISTINA y ORTEGA TORRES GABRIELA SCARLETH, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Determinación y caracterización de macrolásticos en arenas de la Playa de Jambelí, provincia de El Oro, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CABRERA FAJARDO MARÍA CRISTINA
0706641016



ORTEGA TORRES GABRIELA SCARLETH
0706604758

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional, por brindarme sabiduría en los momentos de duda y sostenerme con esperanza en los días difíciles, por su apoyo constante y por su perseverancia. Gracias por ser mi base firme y mi mayor inspiración.

A mis hermanos, por ser mi fuente de motivación, con los que comparto sueños, risas y desafíos. Gracias por su compañía, por impulsarme a seguir adelante y por creer en mí incluso cuando dudé. A cada uno de ustedes, con infinito amor y gratitud, dedico este logro, que no sería posible sin su presencia en mi vida.

Cabrera Fajardo María Cristina

Dedico esta tesis a mis padres, quienes, con esfuerzo, sacrificio y un amor incondicional han trabajado incansablemente para brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Gracias por su entrega constante, por creer en mí y por darme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, este logro es tanto suyo como mío. A mis hermanos, Paulette y Bruno, porque su existencia es parte esencial de mi vida y una razón más para seguir adelante. Y, de manera muy especial, a mi sobrina Sophia, mi pequeña fuente de alegría e inspiración, gracias por regalarme sonrisas incluso en los días difíciles; has sido una luz en mi camino y un motivo más para esforzarme y alcanzar mis sueños. Para cada uno de ustedes, con todo mi amor y gratitud, porque han sido y serán siempre fundamentales en mi vida.

Ortega Torres Gabriela Scarleth

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por haberme brindado la fortaleza, sabiduría y la perseverancia necesaria para alcanzar esta meta importante en mi vida. Expreso mi especial gratitud al Biólogo Denis Mosquera, tutor de esta investigación, por su guía constante y por compartir su conocimiento con generosidad y compromiso. Agradezco también a los docentes de la carrera y sus enseñanzas que son parte de mi formación académica y personal y que van más allá del aula. Y a todos quienes en el camino me brindaron apoyo y ánimo para alcanzar la meta.

Cabrera Fajardo María Cristina

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme brindado la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para concluir con éxito esta importante etapa de mi vida. También expreso mi más sincero agradecimiento al Biólogo Denis Mosquera, tutor de esta tesis, por su valiosa orientación, por brindarnos el apoyo necesario y por guiarnos con paciencia y compromiso durante todo el proceso; su conocimiento y disposición fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

Muchas gracias.

Ortega Torres Gabriela Scarleth

RESUMEN

La contaminación por plásticos en los ecosistemas marino-costeros constituye una problemática creciente a nivel mundial, siendo así, que los macroplásticos es uno de los más importantes, afectando a todos los océanos, mares, costas y archipiélagos del planeta. La presente investigación tiene como objetivo determinar y caracterizar la presencia de macroplásticos (MaP) en las arenas de la playa de Jambelí, provincia de El Oro, Ecuador. Se realizaron seis visitas de muestreo bimensuales durante los meses de febrero, marzo y abril en tres zonas del litoral (infralitoral, mesolitoral y supralitoral), recolectando un total de 180 muestras. Se identificaron 179 unidades de MaP, las cuales fueron clasificados por tamaño, peso, color y tipo de polímero. Los resultados muestran una alta heterogeneidad espacial, con una mayor acumulación en la zona infralitoral. Los polímeros más comunes fueron PP, LDPE, HDPE y PET, predominando colores como blanco, multicolor y transparente, comunes en los productos de un solo uso. No se identificó una tendencia estacional clara en la acumulación, aunque ciertos picos se asociaron a condiciones locales como el oleaje o descargas cercanas. En conclusión, la acumulación de macroplásticos en Jambelí está vinculada a actividades humanas, en especial el turismo y posiblemente la inadecuada gestión de residuos.

***Palabras clave:* Macroplásticos, playa de Jambelí, polímeros, residuos plásticos, contaminación marina.**

ABSTRACT

Plastic pollution in marine-coastal ecosystems is a growing global issue, with macroplastics being one of the most significant, affecting oceans, seas, coastlines, and archipelagos worldwide. The objective of this research is to determine and characterize the presence of macroplastics (MaP) in the sand of Jambeli beach, located in the province of El Oro, Ecuador. Six bimonthly sampling campaigns were conducted during February, March, and April across three coastal zones (infralittoral, mesolittoral, and supralittoral), resulting in the collection of 180 samples. A total of 179 macroplastic items were identified and classified by size, weight, color, and polymer type. The results showed high spatial heterogeneity, with the most accumulation found in the infralittoral zone. The polymers found most were PP, LDPE, HDPE, and PET, with predominant colors including white, multicolored, and transparent, associated with single-use products. No clear seasonal trend in accumulation was seen, although certain peaks were linked to local factors such as wave activity or nearby discharges. In conclusion, macroplastic accumulation in Jambelí appears to be linked to human activities, particularly tourism and potentially inadequate waste management.

***Keywords:* Macroplastics, Jambelí beach, polymers, plastic waste, marine pollution.**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
<i>A. Antecedentes.....</i>	<i>15</i>
III. JUSTIFICACIÓN.....	17
IV. OBJETIVOS	18
<i>A. Objetivo general.....</i>	<i>18</i>
<i>B. Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
V. HIPÓTESIS.....	19
VI. MARCO TEÓRICO.....	20
<i>A. El plástico y su origen.....</i>	<i>20</i>
<i>B. Contaminación por plásticos</i>	<i>20</i>
<i>C. Fuentes de contaminación plástica</i>	<i>21</i>
1. Fuentes de origen terrestre	22
2. Fuentes de origen marino.....	22
<i>D. Clasificación y caracterización de los plásticos</i>	<i>22</i>
1. Clasificación del plástico por tamaño	23
2. Los plásticos según el tipo de polímero	24
3. Identificación de los plásticos por su color	26
<i>E. La zona litoral y las diferentes zonas que la conforman.....</i>	<i>27</i>
1. Zona supralitoral	28
2. Zona mesolitoral o intermareal	28
3. Zona infralitoral	28
<i>F. Las playas y las fuentes de procedencia de los macrolásticos.....</i>	<i>28</i>
<i>G. Impacto de los macrolásticos en los ecosistemas costeros</i>	<i>29</i>

1. Emisión de gases.....	29
2. Alteración del suelo	30
3. Uso recreativo	30
<i>H. Impacto de los macroplásticos en la salud pública y la humanidad.....</i>	<i>30</i>
<i>I. Estrategias de mitigación de los plásticos</i>	<i>31</i>
<i>J. Guías de monitoreo y caracterización de basura en playas</i>	<i>33</i>
1. Guía PNUMA/COI sobre el estudio y seguimiento de la basura marina.....	33
2. Guía para el seguimiento de los desechos marinos en las playas de la zona marítima OSPAR	34
3. Proyecto de vigilancia y evaluación de los desechos marinos de la NOAA. Guía de estudio del litoral	34
VII. METODOLOGÍA	36
<i>A. Área de estudio.....</i>	<i>36</i>
<i>B. Prueba piloto y adaptación de las metodologías de las guías de monitoreo y caracterización de basura en playas.....</i>	<i>37</i>
<i>C. Caracterización y cuantificación de los macroplásticos.....</i>	<i>41</i>
<i>D. Análisis de datos</i>	<i>42</i>
VIII. RESULTADOS.....	43
<i>A. Caracterización y cuantificación de macroplásticos en función de tamaño, peso, color y tipo de polímero</i>	<i>44</i>
1. Cuento de macroplásticos de acuerdo con su color.....	45
2. Cuantificación de macroplásticos acorde al tipo de polímero	45
3. Tamaño promedio registrado de macroplásticos según su tipo de polímero	45
4. Peso de los macroplásticos según su tipo de polímero en las parcelas	46
5. Peso de macroplásticos acorde al número de muestras.....	46
6. Tasa acumulada del peso por visita.....	46
<i>B. Acumulación estacional de macroplásticos</i>	<i>50</i>
1. Acumulación de acuerdo con el tipo de polímero.....	52

2. Acumulación del peso total por el número parcelas	52
3. Acumulación del peso de macroplásticos por tipo de parcela	55
4. Acumulación en los tipos de parcelas con relación al número total muestras	55
5. Acumulación de colores acorde al número total de muestras	56
<i>C. Potenciales interacciones de los macroplásticos con el turismo y los asentamientos humanos</i>	<i>57</i>
1. Distribución espacial de la acumulación.....	57
2. Caracterización por color y tipo de polímero.....	57
3. Heterogeneidad y variabilidad	57
IX. DISCUSIÓN	58
<i>A. Caracterización y cuantificación de los macroplásticos en función de tamaño, peso, color y tipo de polímero.....</i>	<i>58</i>
<i>B. Evaluación de la acumulación estacional de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí.....</i>	<i>59</i>
<i>C. Potenciales interacciones de los macroplásticos con el turismo y los asentamientos humanos</i>	<i>60</i>
X. CONCLUSIONES.....	61
XI. RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN LAS GUÍAS PNUMA/COI, OSPAR, NOAA Y ADAPTACIÓN AL CONTEXTO DE LA PLAYA DE JAMBELÍ.....	39
TABLA II. COORDENADAS POR PARCELA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	40
TABLA III. TASA ACUMULADA DEL PESO POR VISITA DE LOS MACROPLÁSTICOS HALLADOS EN LA PLAYA DE JAMBELÍ.....	48
TABLA IV. PESO TOTAL DE MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LAS VISITAS EN LA PLAYA DE JAMBELÍ.....	54

TABLA DE FIGURAS

Fig. 1. Jerarquía de la gestión de los desechos marinos.....	22
Fig. 2. Tamaño, ejemplos y detectabilidad de la basura marina	24
Fig. 3. Simbología, tipos y aplicaciones de los plásticos	26
Fig. 4. División de las zonas costeras	28
Fig. 5. Maneras para llevar a cabo el muestreo de basura marina en playas, propuestas por PNUMA/COI: a) formación de transectos paralelos a la costa; b) establecer transectos perpendiculares a la costa	34
Fig. 6. Resumen de las directrices propuestas por el NOAA para la vigilancia y evaluación de los desechos marinos.....	35
Fig. 7. Diagrama de flujo de la metodología usada para determinar y caracterizar macroplásticos en muestras de arena de la playa de Jambelí.....	36
Fig. 8. Mapa de ubicación de la playa de Jambelí, provincia de El Oro.....	37
Fig. 9. Mapa de los puntos de recolección de muestras en las zonas infralitoral, mesolitoral y supralitoral en la playa de Jambelí.....	41
Fig. 10. Distribución de colores registrados de los macroplásticos (a). Cantidad de macroplásticos registrados por tipo de polímero (b). Tamaño promedio de macroplásticos acorde al tipo de polímero (c). Distribución del peso por tipo de polímero de macroplásticos en las parcelas (d). Peso (g) de macroplásticos según el número de unidades de macroplásticos recolectados (e). Distribución de datos de la tasa de visitas calculada por día (g/día/m ²) (f).	44
Fig. 11. Acumulación de macroplásticos de acuerdo con el tipo de polímero (a). Acumulación del peso total de macroplásticos por el número de parcelas (b). Acumulación del peso de macroplásticos por tipo de parcela (c). Acumulación en los tipos de parcelas con relación al número total muestras (d). Acumulación de colores acorde al número total de muestras (e).....	51
Fig. 12. Cartel informativo y recipientes diferenciados para la clasificación de desechos sólidos, ubicados estratégicamente en la entrada principal a la isla Jambelí, como parte del sistema de gestión ambiental local.....	72
Fig. 13. Carteles ubicados en la entrada de Jambelí que informan sobre las normas ambientales aplicables a turistas de la playa de Jambelí.....	73
Fig. 14. Implementación y ajuste de las guías de monitoreo de desechos marinos (PNUMA/COI, OSPAR, NOAA) durante la jornada piloto en la playa de Jambelí	73

Fig. 15. Proceso de muestreo de arena en los sitios seleccionados durante el protocolo establecido en la visita piloto, playa de Jambelí, para análisis de macroplásticos.....	74
Fig. 16. Proceso de secado de muestras de arena húmeda mediante horno a temperatura estandarizada.....	74
Fig. 17. Muestras secas tras el secado en horno, preparadas para el proceso de tamizado.	75
Fig. 18. Proceso de tamizado de las muestras de arena para la separación de macroplásticos, seguido del almacenamiento de los residuos plásticos recuperados para su posterior caracterización.....	75
Fig. 19. Digitación de la información recolectada sobre los macroplásticos en la base de datos.....	76

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

COI	Comisión Oceanográfica Intergubernamental
HDPE	Polietileno de Alta Densidad
LDPE	Polietileno De Baja Densidad
MaP	Macroplásticos
MeP	Mesoplásticos
MP	Microplásticos
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONG	Organizaciones No Gubernamentales
OSPAR	Convención para la Protección del Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste
PET	Tereftalato de Polietileno
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloruro de Polivinilo

I. INTRODUCCIÓN

El plástico es un material sintético, fabricado a partir de hidrocarburos y derivado principalmente del petróleo. Se caracteriza por poder moldearse y tomar varias formas [1]. Debido a estas y otras características como durabilidad, flexibilidad, ligereza y bajo costo, se ha convertido en un material ampliamente usado [2]. Sin embargo, su resistencia a la degradación representa un significativo problema ambiental. El tiempo estimado para su degradación oscila entre cientos y miles de años [3], lo que representa una complicación para el manejo de los desechos plásticos que hoy en día es un desafío global [4].

Actualmente, los plásticos están en cualquier lugar del mundo, acumulándose en diferentes volúmenes; gran parte de los desechos terminan en ecosistemas marinos y terrestres, tras usarlos y descartarlos. Los desechos plásticos encontrados en ecosistemas marinos–costeros no siempre se originan en el lugar donde fueron hallados. En las playas arenosas, los residuos plásticos pueden ser transportados de diversas maneras, como las corrientes marinas o el vertido directo al océano, el arrastre mediante ríos y estuarios, el drenaje a través de sistemas de alcantarillado o el transporte por vientos [5]. No obstante, la acumulación plástica en estos ecosistemas se relaciona principalmente con actividades antropogénicas como el turismo y los asentamientos humanos, entre otras razones. Las soluciones propuestas para mitigar la contaminación por plásticos en ecosistemas marinos incluyen, el desarrollo de tecnologías para recolectar residuos plásticos de origen terrestre y así evitar su ingreso a los cuerpos de agua [6].

Otra solución en investigación consiste en reemplazar el plástico comercial de un solo uso por bioplásticos o también denominados plásticos compostables, los cuales son capaces de degradarse de manera más rápida y producen menor impacto ambiental, ya que el proceso por el cual los bioplásticos vuelven a la naturaleza se produce por la degradación en un entorno natural, de esta manera integrándose en el ciclo del carbono mediante microorganismos como bacterias, hongos y algas. Los plásticos biodegradables representativos incluyen poliadipato de butileno tereftalato (PBAT), succinato de polibutileno (PBS) y ácido poliláctico (PLA) [7]. Sin embargo, el trabajo de reemplazo del plástico de un solo uso es lento y depende casi exclusivamente de la intensión de gobiernos y organizaciones de alto impacto regional y global [8].

Los esfuerzos para regular la contaminación causada por el plástico en ecosistemas marinos empezaron en la década de 1970, donde organizaciones

internacionales y gobiernos implementaron instrumentos regulatorios para mitigar la degradación ambiental a nivel mundial, esto se dio a través de convenios, estrategias, planes de acción, acuerdos y reglamentos. Entre estos se encuentran la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM) adoptada en 1982 que dispone como obligación prevenir, reducir y controlar la contaminación en los océanos. El Convenio de Londres de 1972 se enfoca en la prevención de la contaminación marina por vertimiento de desechos, así como de otras materias, y, el Convenio MARPOL (Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques) del año 1973 enfocado en la prevención de la contaminación producida por buques [9]. También, se ha dispuesto de estrategias, una de ellas es la Estrategia de Honolulu del año 2011 que busca evitar que los plásticos de origen terrestre lleguen a los océanos, asimismo existen iniciativas como el Plan de Acción Contra la Basura Marina o G7 del año 2015 y el Plan de Acción sobre Desechos Marinos también conocido como G20 del año 2017, ambas iniciativas priorizan las identificación y reducción de desechos provenientes de fuentes de contaminación tanto marinas como terrestres [10].

La presente investigación se centra en el monitoreo y caracterización de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí, provincia de El Oro. Para esto, se llevaron a cabo mediciones in situ, con el fin de comprender las posibles interacciones entre la acumulación de macroplásticos, el turismo y los asentamientos humanos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación por plásticos constituye un problema ambiental de magnitud global, que afecta ecosistemas marinos y terrestres. Se estima que de manera anual se vierten aproximadamente 52,1 millones de toneladas de macroplásticos al ambiente, esto representa el 21% de los residuos plásticos generados a escala mundial. Esta contaminación tiene diversas fuentes de origen, incluyendo los residuos no recolectados, desechos mal gestionados y la quema de desechos al aire libre, llegando a generar impactos adversos tanto en la biodiversidad como en el equilibrio ecológico [11].

Desde la década de 1950, la producción mundial de plásticos ha experimentado un crecimiento exponencial, al igual que se ha detectado acumulación de residuos en los océanos, zonas costeras remotas y hasta en lechos marinos. A partir de este año se reporta un incremento de 0,5 millones de toneladas hasta llegar a 368 millones de toneladas en 2019, con proyecciones que estiman para el año 2050 la producción global plásticos será de 1100 millones de toneladas [12]. Los macroplásticos representan un peligro significativo para los ecosistemas marinos, debido a los enredos, ingesta y alteraciones fisiológicas que provoca en diversas especies [13]. Estudios recientes han demostrado que la acumulación de plásticos es mayor en las zonas costeras donde la presencia humana es alta y actividades antropogénicas como la pesca o el turismo contribuyen a niveles elevados de contaminación [14].

En Ecuador, aunque se han realizado estudios sobre la presencia de microplásticos en ecosistemas costeros, la caracterización y cuantificación de macroplásticos sigue siendo un área poco explorada. Un estudio realizado en 26 playas ecuatorianas reveló que más del 60% de los residuos marinos están compuestos por plásticos, con una densidad de 1,31 ítems/m². La falta de conciencia ambiental y de educación en el manejo de residuos agrava el problema, ya que muchos desechos plásticos no son eliminados adecuadamente y terminan en el medio marino, poniendo en riesgo la estética y el atractivo turístico de las playas, así como la calidad de vida de las comunidades locales [15]. Las investigaciones sobre la contaminación plástica en playas han evidenciado el impacto negativo que provoca en la biodiversidad y en la actividad turística.

El problema de la gestión ineficaz de los residuos plásticos exige soluciones innovadoras a escala mundial. Estrategias como la reducción, la reutilización y el reciclaje de plásticos y el desarrollo de materiales biodegradables se han propuesto como alternativas viables [16]. Sin embargo, la implementación de estas soluciones enfrenta

grandes desafíos, como la falta de infraestructura adecuada y la poca conciencia pública sobre la necesidad de reducir el consumo de plástico. En Ecuador, las tasas de reciclaje de plástico varían entre el 5% y el 25%, lo que reafirma la necesidad de fortalecer las políticas ambientales, promover la investigación sobre materiales sostenibles y fomentar la participación ciudadana en la gestión de residuos. En particular, un estudio realizado en la provincia de El Oro reportó la presencia de 672 fragmentos de mesoplásticos en la playa de Jambelí, en donde predominaron los polímeros tereftalato de polietileno (PET) y polimetil metacrilato (PMMA), los cuales su principal origen son las actividades humanas como el turismo y la pesca [17]. Este tipo de contaminación representa patrones de contaminación similar a los reportados en otros sitios a nivel nacional en diferentes esfuerzos de investigación. Por ejemplo, en las Islas Galápagos, la acumulación significativa de desechos plásticos se atribuye a la actividad turística y a la deficiencia en la gestión de residuos, lo cual muestra la urgencia de implementar medidas de mitigación y educación ambiental para reducir el impacto ambiental a causa de los plásticos [18].

A. Antecedentes

La contaminación por plásticos representa una amenaza ambiental global, especialmente en ecosistemas marinos y costeros. Estudios en las Áreas Marinas Protegidas del Pacífico Tropical Oriental han demostrado que las concentraciones de macro y microplásticos no difieren significativamente entre las zonas protegidas y no protegidas, lo que refleja la persistencia de esta problemática [11]. Entre los países que son principal fuente de contaminación en la región se incluyen aquellos ubicados en la costa continental como Ecuador, Perú y Chile. Sin embargo, la falta de datos en otras áreas dificulta una comprensión completa del problema [19]. Estos hallazgos destacan la necesidad de enfoques regionales y multidisciplinarios, con énfasis en estrategias basadas en la economía circular y acciones sistemáticas para reducir el impacto de los plásticos en los ecosistemas marinos.

La Isla de Jambelí, ubicada en la provincia de El Oro, es uno de los sectores de la costa ecuatoriana donde prevalecen ciclos estacionales. En estos ciclos, las playas pueden perder una gran cantidad de arena en una estación y recuperarla en otra [20]. Esta dinámica está influenciada por procesos geodinámicos y fenómenos climáticos como El Niño Oscilación Sur, además de estos factores naturales, la isla afronta presiones humanas como la edificación de infraestructura, la tala de manglares para la construcción de camarónicas y el turismo, que han intensificado la degradación ambiental en la zona. Uno de los problemas más alarmantes en la playa de Jambelí es la acumulación de plásticos

en sus arenas. Este tipo de contaminación es resultado principalmente del manejo inadecuado de residuos que amenaza tanto a los ecosistemas locales como a la biodiversidad costera, incluidos los manglares y la fauna marina [21].

Es relevante considerar modelos como la estimación cualitativa para comprender mejor la gestión de residuos plásticos en la región. Este enfoque integra datos sobre indicadores socioeconómicos locales, densidad poblacional y eficiencia en la gestión de residuos, permitiendo estimar características clave del sistema, como el flujo de residuos plásticos hacia las playas y su impacto ambiental [22]. Este tipo de modelo podría ser fundamental para identificar patrones de acumulación de macroplásticos y proponer estrategias de economía circular y así reducir su presencia en la playa de Jambelí.

En el estudio realizado por Loyola y Zhunaula [23], en la playa de Jambelí se documentó la existencia de 672 fragmentos pertenecientes a mesoplásticos, con una predominancia de mesoplásticos (81,7%) y colores como blanco (24,6%) y azul (21,9%). Además, mediante espectroscopia FTIR-ATR, se identificaron polímeros como el PET y el PMMA, asociados principalmente a actividades humanas como el turismo y la pesca. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar estrategias efectivas para mitigar esta problemática y preservar los ecosistemas costeros de Jambelí.

La combinación de las presiones naturales, antropogénicas y el impacto provocado por la contaminación por plásticos en la playa de Jambelí destaca la importancia de llevar a cabo investigaciones específicas, como el monitoreo y caracterización de macroplásticos en sus arenas. Estos estudios son esenciales no solo para comprender la magnitud del problema, sino también para desarrollar soluciones sostenibles que mitiguen sus efectos y contribuyan a la conservación ecológica y económica local.

III. JUSTIFICACIÓN

La contaminación por plásticos afecta a nivel global los ecosistemas marinos y costeros, lo cual representa un desafío ambiental crítico nivel global, generando impactos significativos sobre la biodiversidad y la funcionalidad ecológica al igual que la calidad de vida de las comunidades que dependen de estos entornos [22].

La contaminación por macroplásticos consiste en la presencia de fragmentos plásticos mayores a 25 mm [24], estos desechos afectan a la vida silvestre de los ecosistemas marinos al generar enredos o ser ingeridos, lo que provoca obstrucciones, desnutrición y la transferencia de toxinas químicas acumuladas, como ftalatos y bisfenoles, que pueden causar alteraciones hormonales y efectos nocivos para la salud [19]. Este tipo de contaminación se ha documentado en más de 1,300 especies de fauna marina a las que lesiones, mortalidad y disminución de la población son efectos de este problema [4], [13]. Estudios previos documentaron que las playas con mayor actividad turística presentan niveles más elevados de contaminación plástica, por la disposición inadecuada de residuos y la falta de infraestructura para la recolección y transporte de desechos plásticos [14].

En Ecuador, aún son escasos los estudios sobre la caracterización y cuantificación de macroplásticos en playas de alta afluencia turística. La mayoría de las investigaciones previas en la región se han centrado en microplásticos, dejando un vacío de información sobre la distribución, caracterización y fuentes de macroplásticos en los ecosistemas marino-costeros [15], [18]. En este contexto, la playa de Jambelí es una zona de importancia ecológica y económica, donde la pesca y el turismo son las principales fuentes de ingresos para la comunidad. Sin embargo, la contaminación por macroplásticos representa una amenaza tanto para el desarrollo económico local como para la biodiversidad.

Esta investigación busca responder a la urgente necesidad de generar datos específicos para evaluar el impacto de este tipo de contaminación mediante la determinación y caracterización de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí. Los resultados obtenidos permitirán proponer estrategias locales de gestión de residuos y conservación ambiental, fortaleciendo los esfuerzos para preservar la funcionalidad ecológica y el valor económico de este importante ecosistema costero.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Monitorear y caracterizar los macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí, provincia de El Oro, mediante evaluaciones cualitativas y cuantitativas in situ, para comprender sus potenciales interacciones en las zonas turísticas y los asentamientos humanos.

B. Objetivos específicos

- Caracterizar y cuantificar los macroplásticos estudiados, en función de tamaño, peso, color y tipo de polímero.
- Evaluar la acumulación estacional de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí.
- Definir las potenciales interacciones entre los macroplásticos con el turismo y los asentamientos humanos.

V. HIPÓTESIS

La presencia y acumulación de macroplásticos en la playa de Jambelí es influenciada significativamente por su tamaño, peso, color y tipo de polímero.

VI. MARCO TEÓRICO

A. *El plástico y su origen*

El término 'plástico' abarca una amplia variedad de materiales, algunos de los cuales, durante su proceso de producción pueden moldearse, extruirse, fundirse, hilarse o aplicarse como revestimiento. Los plásticos suelen fabricarse de polímeros sintéticos que frecuentemente se preparan mediante la polimerización de monómeros derivados del gas o petróleo. Actualmente, existen unos 20 grupos diferentes de plásticos [25].

El origen del plástico se remonta a 1850, cuando el metalúrgico inglés Alexander Parkes creó la nitrocelulosa mediante el uso de ácido nítrico, convirtiéndose en el primer termoplástico, un material que se funde al calentarse y endurece al enfriarse. En 1872, el químico alemán Eugen Baumann descubrió accidentalmente el primer plástico moderno, el cloruro de polivinilo (PVC). Debido a su rigidez y fragilidad, no fue hasta 1920 que se le añadieron plastificantes, transformándolo en un material más blando y flexible [26].

Para el año 1900, los únicos materiales plásticos disponibles eran la goma laca, la gutapercha, la ebonita y el celuloide, aunque, ya se habían realizado los primeros experimentos con otros materiales, como las resinas de formaldehído y la caseína [1].

En 1907, Leo Baekeland inventó la baquelita mediante la combinación de fenol y formaldehído, creando así el primer polímero sintético termoestable. Este descubrimiento marcó el inicio de la producción masiva de polímeros. A diferencia de los termoplásticos, los plásticos termoestables sufren un cambio químico irreversible al calentarse. Aunque antes de la Segunda Guerra Mundial la producción de plásticos era significativa, en este período aumentó considerablemente por la escasez de otros materiales y la versatilidad del plástico como sustituto. A partir de la década de 1950, la producción mundial de plásticos creció exponencialmente. Desde entonces, su fabricación y uso han superado a los de cualquier otro material, gracias a su bajo costo, resistencia y adaptabilidad [26].

A principios de los 70's aparecieron las primeras resinas para botellas, siendo el PET uno de los pocos polímeros adecuado para la fabricación de botellas debido a propiedades como transparencia, brillo, ligereza y resistencia [25].

B. *Contaminación por plásticos*

La contaminación plástica se refiere a la acumulación de desechos plásticos en el medio ambiente, afectando tanto ecosistemas terrestres como acuáticos [27]. En el mundo moderno, los plásticos se han convertido en un problema descontrolado, ya que es casi imposible no encontrar objetos fabricados con uno o varios tipos de este material [28].

Desde este problema, la acumulación de plásticos se ha palpado globalmente desde los desiertos a granjas, pasando por cima de montañas hasta el fondo del mar. Al acumularse en el ambiente, la capacidad de eliminación natural [27]. El crecimiento exponencial en la fabricación de plásticos en los últimos 65 años ha sobrepasado al de cualquier otro material manufacturado. Si bien sus características lo han convertido en un material versátil con innumerables aplicaciones, también han dificultado su asimilación por los ecosistemas naturales. Como consecuencia, la falta de estrategias efectivas para gestionar su ciclo de vida ha llevado a la acumulación de millones de toneladas métricas de plástico en los ecosistemas terrestres y marinos más importantes del planeta [29].

C. *Fuentes de contaminación plástica*

Pese a la creciente producción y uso mundial de productos de plástico, la gestión de residuos es inadecuada o inexistente en muchos lugares, por lo que acaban en el medio natural. Siendo así que la mala gestión de los plásticos supone una amenaza para la salud humana [4], [30].

Es fundamental considerar cuidadosamente las ventajas y desventajas de la reutilización, el reciclaje de materiales, la conversión de residuos en energía y el desarrollo de soluciones para abordar los desafíos medioambientales derivados del crecimiento exponencial en la producción y uso de plásticos a nivel mundial [29].

Es importante tener en cuenta que el final del ciclo de vida de los plásticos no equivale al fin de su impacto ambiental; tras su utilización, los plásticos pueden seguir distintos caminos, la mayoría de los cuales distan mucho de ser respetuosos con el medio ambiente, mientras que una fracción puede reciclarse (Fig. 1). Sin embargo, el reciclaje requiere múltiples etapas y una infraestructura adecuada para garantizar su correcta gestión, posterior transporte, así como separación, procesamiento y refabricación. Debido al alto costo de estos procesos, sumado al bajo valor comercial del plástico reciclado y al menor precio del plástico virgen, el reciclaje suele ser poco rentable y depende de subvenciones que muchos gobiernos no pueden o no quieren otorgar [28].

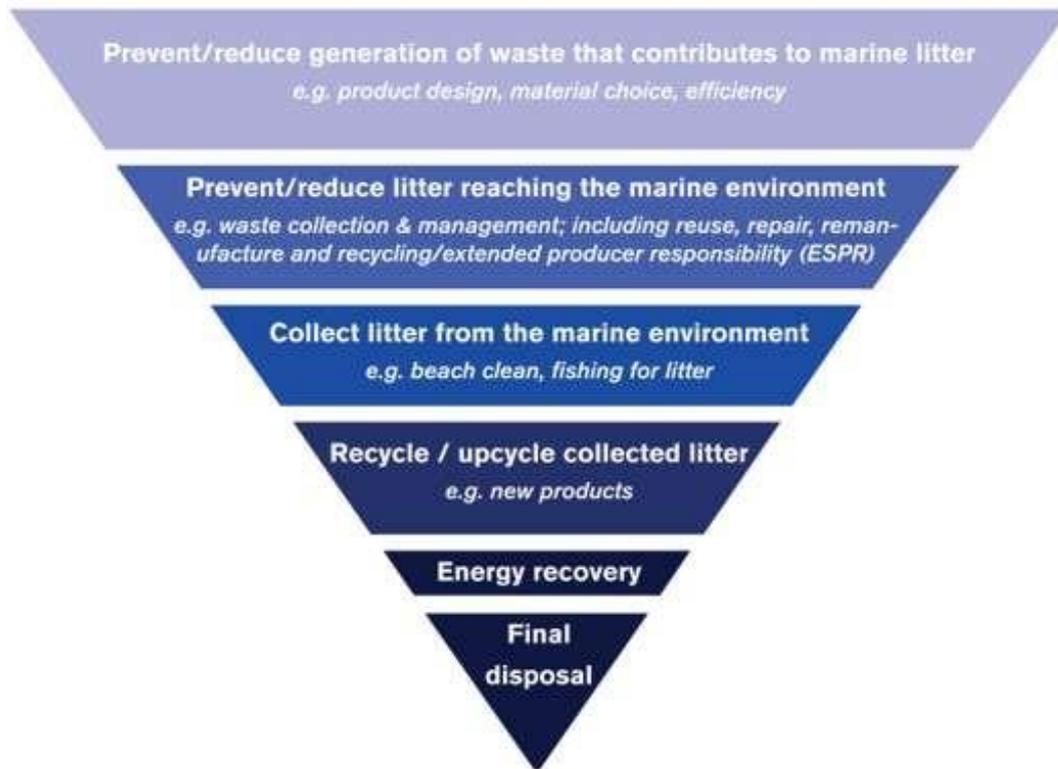


Fig. 1. Jerarquía de la gestión de los desechos marinos.

Fuente: U. N. Environment Programme [31].

Las principales fuentes de origen de la contaminación plástica son las actividades terrestres y las actividades marítimas.

1. Fuentes de origen terrestre

Las fuentes terrestres incluyen puertos, vertederos y basureros próximos a la costa, al igual que el uso recreativo, la basura pública, también se incluyen los desbordamientos de aguas residuales, la introducción por pérdida accidental y los eventos extremos [10].

2. Fuentes de origen marino

Las fuentes de origen de los desechos marinos incluyen los transatlánticos comerciales, las flotas militares y de investigación, la navegación comercial, los transbordadores y de recreo, las embarcaciones de recreo y las instalaciones en alta mar, como plataformas, plataformas petrolíferas y centros de acuicultura, además de que influyen las corrientes marinas, el clima y las mareas, la proximidad a zonas urbanas, áreas industriales como recreativas, las rutas marítimas al igual que los caladeros de pesca [10].

D. Clasificación y caracterización de los plásticos

Los residuos plásticos se pueden clasificar según su color, polímero y quizá su categorización más importante correspondiente a su tamaño [32].

1. Clasificación del plástico por tamaño

El criterio usado para clasificar los residuos plásticos es el tamaño, ya que el tamaño de las partículas es muy relevante, porque determina la interacción del elemento con la biota y su destino medioambiental. De acuerdo con su tamaño (Fig. 2) los desechos plásticos son clasificados en:

a) *Nanoplásticos*

Debido al que el tamaño de sus partículas es $<1 \mu\text{m}$, para la detección de los nanoplásticos (NP) son necesarios métodos especiales, estas partículas se pueden encontrar en nano fibras de la ropa; polvo de caucho del desgaste de los neumáticos; nanopartículas en productos y fármacos, estos tipos de plásticos, aunque se sabe que están presentes en el medio natural aún no se han detectado debido a limitaciones técnica [31].

b) *Microplásticos*

Los microplásticos (MP) por su tamaño ($1 \mu\text{m} - 5 \text{mm}$) para poder identificarlos es necesario el uso de microscopios e instrumentos para confirmar que es plástico, se encuentran en forma de micro perlas de productos de cuidado personal; fragmentación de productos (plásticos) existentes; poliestireno; plástico procedente de voladuras en astilleros; partículas procedentes de la incineración de residuos [31].

c) *Mesoplásticos*

Los Mesoplásticos (MeP) que tienen un tamaño entre $5 \text{mm} - 2,5 \text{cm}$, son visibles a simple vista y generalmente se presentan en forma de tapas de botellas; colillas de cigarrillos; residuos arrastrados por el viento o las tormentas [31].

d) *Macroplásticos*

Se encuentran como bebidas botellas y latas; bolsas de plástico; envases para alimentos; vajilla y cubiertos; flotadores boyas; neumáticos; tubos; globos; juguetes; textiles enteros y por su tamaño que va desde los $2,5 \text{cm}$ a 1m los macroplásticos (MaP) se pueden identificar a simple vista [31].

e) *Megaplásticos*

Debido a que su tamaño es $>1 \text{m}$, la identificación de los megaplásticos (MgP) es sencilla. Suelen encontrarse en forma de redes de pesca y trampas abandonadas, cuerdas de embarcaciones, plásticos utilizados en la agricultura y materiales de construcción de PVC [31].

Marine litter sizes, types and impacts*					
Marine litter size:	Nano <1µm	Micro <5mm	Meso <2.5cm	Macro <1 m	Mega >1m
Detection/identification method:	Needs special detection methods as smaller particles undetected by microscopes – to date have not been detected in environmental samples.	Often needs microscopes and instrumentation to confirm it is plastic; <i>Larger: visible/identifiable to naked eye</i>	Visible/identifiable to the naked eye	Visible/identifiable to the naked eye	Visible/identifiable to the naked eye
Examples of marine litter:	e.g. nanofibres from clothing; rubber dust from tyre wear; nanoparticles in products and pharmaceuticals. Have not yet been detected as litter due to technical limitations, but undoubtedly present in environment	e.g. microbeads from personal care products; fragmentation of existing (plastic) products; polystyrene; plastic from blasting in shipyards; particulates from waste incineration	e.g. bottle caps; cigarette filters and butts; plastic pellets; wind-blown/ storm-washed waste	e.g. beverage bottles and cans; plastic bags; food packaging; other packaging; disposable tableware/cutlery; beer-lies; fishing lines and floats, buoys; tyres; pipes; balloons; toys; whole textiles	e.g. abandoned fishing nets and traps; rope; boats; plastic films from agriculture; construction PVC (Polyvinyl chloride)

Fig. 2. Tamaño, ejemplos y detectabilidad de la basura marina.

Fuente: U. N. Environment Programme [31].

2. Los plásticos según el tipo de polímero

Así como los plásticos son caracterizados por su tamaño, también pueden hacerse a partir de los polímeros que los constituyen (Fig. 3), entre los cuales se incluyen se los más usados para su producción:

a) Tereftalato de polietileno

El PET, es muy ligero y puede ser de semirrígido a rígido, dependiendo de su espesor, se utiliza principalmente para fibras sintéticas y botellas de plástico para refrescos, aceite de cocina, etc [33].

b) Polietileno de alta densidad

El polietileno de alta densidad (HDPE), es un polímero caracterizado por la fuerza intermolecular y su resistencia a muchos disolventes diferentes, lo cual hace que sea un material adecuado para la fabricación de botellas, jarras de leche, botellas de detergente, tarrinas de margarina, bolsas de supermercado, macetas de vivero, contenedores de pesticidas y aceite [33].

c) Cloruro de polivinilo

Después del polietileno (PE) y el polipropileno (PP), PVC es el tercer plástico más producido; es resistente, lo que lo convierte en el plástico preferido para las tuberías de alcantarillado doméstico y otras aplicaciones, en vez de metal, también se usa en ropa, tapicería, mangueras/tubos flexibles, suelos y aislamiento de cables eléctricos, como en

muebles de exterior, envases alimentarios, envoltorios retráctiles y recipientes para detergentes líquidos [33].

d) Polietileno de baja densidad

Los materiales fabricados a partir de este polímero pueden ser translúcidos u opacos. El polietileno de baja densidad (LDPE) es muy flexible y resistente, pero quebradizo y se utiliza para fabricar envases, botellas, bolsas de plástico y film estirable [33].

e) Polipropileno

Se utiliza en la fabricación de productos como hilos, tejidos, envases de alimentos como bandejas para carne, al igual que macetas para viveros, piezas de pañales o artículos sanitarios, etc; muchos artículos de plástico para uso médico o de laboratorio pueden fabricarse con PP porque resiste el calor [33].

f) Poliestireno

El poliestireno (PS) es utilizado para fabricar maquetas de plástico, cajas de CD y DVD, bandejas de comida y tarros de yogur [33].

g) Otros

Este término abarca otros tipos de polímeros de aquellos mencionados anteriormente; se trata de una mezcla de varios materiales entre los que se incluye el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es usado en la fabricación de tubos de drenaje, impresoras, teclados y monitores de computadoras; policarbonato (PC) se encuentra en objetos como semáforos, CDs, gafas, escudos antimotines, carcasas de smartphones; polimetil metacrilato (PMMA) usado en difusores de luz fluorescente, cubiertas de las luces traseras de los vehículos, lentes de contacto, aglets (tubos en los extremos de los cordones de los zapatos), ‘vidrio’ endurecido; y en pinturas acrílicas utilizadas comercialmente y por los artistas; politetrafluoroetileno (PTFE) este material también conocido como teflón es usado para revestimientos resistentes al calor y de baja fricción que son utilizados en toboganes de agua, sartenes, cinta adhesiva de fontaneros y tereftalato de polibutileno (PBT) [34], [35].

Symbol	Types of plastics	Common use
	Polyethylene Terephthalate	As one of the most recycled plastic materials, PET is primary used for soft drink bottles, cooking oil bottles, peanut butter jars, etc.
	High Density Polyethylene	As one of the most recycled plastic materials, HDPE is primary used for bottles, milk jugs, detergent bottles, margarine tubes, grocery bags, nursery pots, pesticide and oil containers
	Polyvinyl Chloride	PVC (or vinyl) is used to produce products such as pressure pipes, outdoor furniture, food packaging, shrink wrap, liquid detergent containers, etc.
	Low Density Polyethylene	LDPE is used to produce films or bags, trash can liners, food storage containers, and stretch wrap
	Polypropylene	PP is used in products such as yarn, fabrics, food packaging, meat trays, nursery pots, row covers, etc.
	Polystyrene	PS is used to make yoghurt pots, egg cartoons, meat trays, and disposable utensils, video cassettes, televisions, packaging pellets or "Styrofoam peanuts"
	Other types of plastics	May contain several types of plastics, used to make some food containers such as "Tupperware"

Fig. 3. Simbología, tipos y aplicaciones de los plásticos.

Fuente: Wong [33].

La codificación de los plásticos usada como estándar a nivel global fue desarrollada por la Sociedad de la Industria de los Plásticos para permitir que el reciclaje de los plásticos sea eficiente al momento de clasificarlos. El código usado en la simbología representa un tipo principal de plástico, aunque los números suelen malinterpretarse como indicadores de la dificultad de reciclado o la frecuencia con que se recicla el plástico. En realidad, son números asignados arbitrariamente y no tienen otro significado más que el de identificar el plástico correcto [33].

3. Identificación de los plásticos por su color

Aunque no se considera que el color sea un factor determinante en la categorización de residuos plásticos, puede resultar pertinente incluir el color como un descriptor adicional, debido a que se puede conocer su procedencia. La identificación del color es altamente subjetiva y los colores más brillantes se detectan con mayor facilidad durante el análisis visual, en contraste, a las partículas oscuras, transparentes o translúcidas que pueden encontrar en menores cantidades, es posible que la información sobre el color esté sesgada. Al igual que, puede que se decoloración por factores ambientales, factor a considerar al comunicar e interpretar los datos, también puede verse obstaculizada por deficiencias visuales como el daltonismo [36], [37].

Si bien no existe un esquema estandarizado para la designación de colores de los desechos plásticos, su clasificación cromática no es suficiente debido a la gran variedad de tonos dentro de una misma categoría (ej. turquesa, cian, azul marino, azul cielo); por esta razón ser demasiado específico con su categorización requeriría mucho tiempo [37].

E. La zona litoral y las diferentes zonas que la conforman

La costa o también llamada litoral, es una sucesión de diferentes ambientes que constituye una de las regiones más dinámicas del océano y la resistencia estructural de las formas terrestres, que queda expuesta durante la marea baja y cuando existe marea alta queda sumergida [38], [39]. Las playas, definidas como barreras naturales, son hábitats para una diversidad de invertebrados y aves costeras, son cruciales en la protección del litoral durante las tormentas. Se ha demostrado que estos lugares son altamente deseables para la residencia [38].

Una playa es una franja de la orilla del mar que se utiliza para actividades recreativas y turísticas. Las playas son depósitos de sedimentos no consolidados sujetos a procesos de deposición y erosión por la acción de las olas y corrientes. Desde el punto de vista biológico, las playas son hábitats clave para diversas especies marinas, proporcionando áreas de protección, reproducción y alimentación. Por lo tanto, una playa contaminada con desechos plásticos representa una amenaza tanto para la vida marina como para la salud humana [40].

Para delimitar claramente la costa, se la ha dividido en diferentes zonas, que como se observa en la Fig. 4 son tres y están comprendidas por la zona supralitoral, zona mesolitoral y zona infralitoral detalladas a continuación:

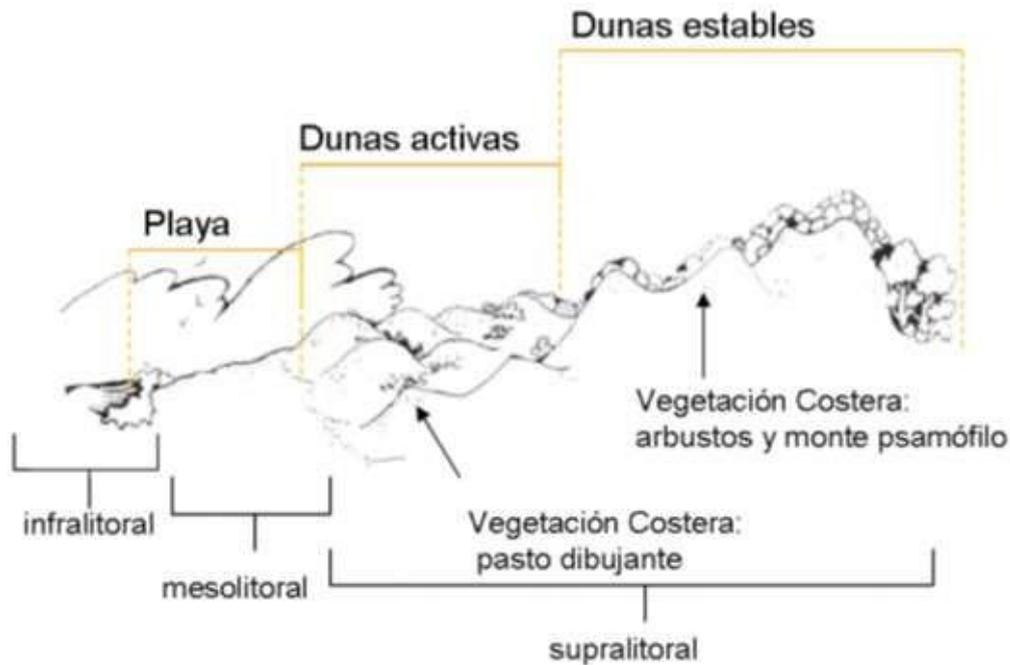


Fig. 4. División de las zonas costeras.

Fuente: Ministerio de Ambiente de Uruguay [39].

1. Zona supralitoral

La zona supralitoral inicia donde termina el ecosistema terrestre, es decir, aquel dominado por suelo y vegetación terrestre. Las que son más altas y contienen más vegetación sobre ellas suelen coincidir con el comienzo de las primeras dunas [39].

2. Zona mesolitoral o intermareal

Comprendida entre la pleamar y la bajamar, es la zona de barrido de olas. Esta zona se llama zona intermareal. Es la zona a la que comúnmente llamamos playa, y según el lugar, puede ser muy angosto o ancho [39].

3. Zona infralitoral

Es la zona comprendida entre la bajamar (por debajo de la línea de marea más baja) y el límite inferior que alcanza el oleaje; esta zona puede ser muy extensa, ya que, se puede extender hasta los 200 metros de profundidad [39].

F. Las playas y las fuentes de procedencia de los macroplásticos

Las playas se conocen como sumideros de basura, porque pueden ser el lugar permanente o temporal de acumulación de la basura marina, porque los plásticos suelen acumularse en los fondos marinos. Asimismo, el volumen de acumulación de los plásticos varía en función de la proximidad de asentamientos urbanos, la dinámica costera, la influencia de los vientos, entre otros factores. Como resultado, el impacto de los residuos es cada vez más evidente incluso en los entornos más remotos de la Tierra, como los

fondos oceánicos profundos y la región polar [40]. Las actividades humanas, el turismo, la pesca y la inadecuada disposición de residuos contribuyen significativamente a la contaminación plástica en playas [14].

La concentración de objetos plásticos en playas, estuarios y océanos abiertos se ha reconocido como un desafío del siglo y un problema global que afecta a la salud humana, los ecosistemas y el paisaje; pero la gestión de residuos en las playas tiene más objetivos turísticos que políticas ambientales o sanitarias. Los MaP también son el tema más común en las actividades de limpieza de playas o en iniciativas de observación ciudadana y acciones de monitoreo [18], [41].

G. *Impacto de los macroplásticos en los ecosistemas costeros*

Los ecosistemas costeros y marinos representan una interfaz crítica entre la sociedad humana y el mundo natural. Estos ecosistemas son sensibles a las actividades antropogénicas, que han dejado una huella permanente. En los últimos años, la problemática de la contaminación de sedimentos en estos entornos se ha convertido en una preocupación latente que va mucho más allá de las repercusiones ecológicas y medioambientales inmediatas; aunque nunca se insistirá lo suficiente en la importancia de comprender la contaminación por sedimentos, pues sus causas y las posibles estrategias de mitigación, serán cruciales para preservar y restaurar la salud de los sistemas costeros y marinos [42].

La acumulación de plásticos en las playas arenosas las convierte en ecosistemas sumidero natural para estos materiales [43]. La presencia de MaP es una preocupación creciente debido a su persistencia y su eventual fragmentación en MeP, así como MP [43], [44]; lo que supone amenazas para la vida marina como a la salud humana [40]. Los MaP representan una amenaza para los ecosistemas debido a su persistencia y baja degradabilidad, en ambientes marinos, su acumulación provoca obstrucción de hábitats críticos como arrecifes de coral y zonas de reproducción de especies marinas. Además, los MaP pueden ser ingeridos por fauna marina, ocasionando obstrucciones intestinales y afectaciones metabólicas [45], [46].

1. *Emisión de gases*

Un estudio realizado por [46] investigó la emisión de gases de distintos tipos de plásticos, incluyendo PC, acrílico (AC), PP, PET, PS, HDPE y LDPE, en condiciones terrestres y acuáticas. La emisión de metano (CH_4) fue el doble en el aire que, en el agua, mientras que la de etileno (C_2H_4) fue 76 veces mayor. Al estar expuestos al aire, los plásticos pueden calentarse más rápidamente que cuando están sumergidos en el agua, lo

que acelera su degradación y después se produce la ruptura de sus macromoléculas y se produce la liberación de gases. Se espera que las emisiones de gases del plástico aumenten conforme más residuos plásticos se acumulen en el medio ambiente. Además, la degradación y fragmentación de los MaP contribuye a la formación de microplásticos, lo que agrava aún más el problema de la contaminación [46].

2. *Alteración del suelo*

En ecosistemas terrestres, los MaP alteran la estructura del suelo, afectando la infiltración de agua y la disponibilidad de nutrientes. En algunos casos, los residuos plásticos pueden liberar compuestos tóxicos como ftalatos y bisfenol A (BPA), lo que compromete la calidad del suelo y el agua subterránea [47].

3. *Uso recreativo*

La basura marina también puede tener un impacto negativo en el turismo, con repercusiones para los comerciantes que se benefician de estas actividades. La presencia de desechos contribuye a que el sector turístico se vea afectado por la presencia de los residuos, ya que reduce el valor estético y la atracción de estas áreas para su uso recreativo consecuentemente los visitantes pueden ser disuadidos a visitar determinadas playas, lo que reduce el número de visitantes y a su vez supone una pérdida de ingresos en la economía local y empleos en el sector turístico. El uso recreativo de las zonas costeras y marinas también puede disminuir por el riesgo de lesiones o de exposición a agentes patógenos y/o por la pérdida de especies y ecosistemas carismáticos o emblemáticos por la basura marina; as, el impacto negativo de la basura marina en ciertas especies puede reducir los ingresos de la pesca recreativa [31].

H. *Impacto de los macroplásticos en la salud pública y la humanidad*

Existe una creciente preocupación científica, gubernamental y pública sobre los posibles riesgos para la salud humana asociados con la exposición generalizada a los aditivos usados durante la fabricación de los plásticos [48]. La carga corporal de las sustancias químicas utilizadas durante la fabricación de plásticos tiene efectos adversos en la población humana, en el que son incluidas las anomalías reproductivas [49].

Esto se debe a que algunas sustancias químicas añadidas a los plásticos para mejorar sus propiedades también pueden actuar como compuestos alteradores endocrinos (EDC). Estos compuestos pueden interferir en el sistema hormonal y provocar efectos adversos en la reproducción y el desarrollo. En los hombres, la exposición a los EDC puede reducir la capacidad reproductiva y aumentar el riesgo de cáncer testicular o de próstata. Algunos estudios han propuesto que los niveles de hormonas reproductivas

pueden indicar la calidad del semen y la fertilidad. Sin embargo, otros sugieren que estos niveles no son una medida fiable para predecir problemas en la calidad del semen. En las mujeres, los EDC pueden aumentar el riesgo de endometriosis, cáncer reproductivo y otros cánceres relacionados con el sistema endocrino. También pueden afectar la función ovárica, la calidad de los óvulos y el ciclo menstrual. Los efectos de la exposición a los EDC en los primeros años de vida aún no están completamente claros. Sin embargo, se ha sugerido que la exposición fetal o infantil podría alterar la diferenciación sexual, afectar el desarrollo neurológico y reproductivo, y aumentar el riesgo de problemas de fertilidad o cáncer en la adultez. Por lo tanto, la exposición temprana a estas sustancias químicas puede tener repercusiones a largo plazo en la salud [48].

Pese a la creciente preocupación por los efectos en la salud humana asociados a aditivos plásticos; los estudios en humanos que han investigado estas relaciones aún no se sabe la importancia clínica de algunos marcadores de alteración endocrina, salud reproductiva o desarrollo alterado habitualmente en humanos. Existen pruebas limitadas pero cada vez más numerosas de que tales cambios están asociados a la exposición ambiental y laboral a aditivos plásticos y otras posibles EDC. Además, estos marcadores pueden servir como indicadores intermedios de que la alteración de la función endocrina es la vía que relaciona la exposición ambiental con los efectos clínicos reproductivos y de desarrollo [48].

I. Estrategias de mitigación de los plásticos

La existencia de plásticos en el medio marino plantea una serie de problemas que obstaculizan el desarrollo económico. Los plásticos varados en las costas crean un problema estético que tiene repercusiones negativas para el turismo, la navegación, la producción de energía, la pesca y los recursos acuícolas. Las pérdidas económicas están asociadas a la reducción de los ingresos del turismo, los efectos negativos en las actividades recreativas, los daños a las embarcaciones, el deterioro del medio marino, el transporte de especies invasoras y los daños a la salud pública [50].

Se han identificado varios tipos de estrategias que tratan de abordar el problema de la contaminación por plásticos, en el que se implica a las instituciones globales, regionales y nacionales, las cuales son clave y esenciales para tratar este tema y así poder controlar y prevenir la acumulación de residuos plásticos en el medio marino y costero [51]. Una de las soluciones considerada como prioridad para mitigar los desechos marinos están la disminución de la producción de plástico y mantener los plásticos dentro de una economía circular [52].

Los gobiernos llevan décadas luchando por reducir los residuos plásticos marinos. El Convenio MARPOL 73/78 se firmó en 1973, aunque 134 países acordaron eliminar el vertido de plásticos en el mar, las investigaciones han demostrado que el problema de los desechos marinos ha empeorado, aunque se prohíbe totalmente desechar plásticos en el mar desde su firma. Muchas organizaciones no gubernamentales (ONG) llevan a cabo investigaciones de seguimiento sobre los desechos marinos para aumentar la concienciación. The Ocean Conservancy supervisa la Limpieza Internacional de Costas (ICC). La ICC anima a otras ONG y grupos de voluntarios a participar en la mitigación de los desechos marinos mediante la limpieza de las zonas costeras de todo el mundo. La Estrategia de Honolulu propone estrategias para la prevención y la gestión de los desechos marinos. Dos de las estrategias de Honolulu son de especial interés, ya que una de ellas se centra en instrumentos basados en el mercado para minimizar los residuos, mientras que la segunda estrategia crea políticas, reglamentos y legislación para reducir los desechos marinos [50].

El atractivo de encontrar un material biodegradable y de origen local ofrece la posibilidad de crear un enfoque de economía circular para los envases y otras aplicaciones del plástico. No es fácil encontrar sustitutos fácilmente usables para los plásticos. Por ejemplo, los sorbetes de papel se deterioran rápidamente, y crear sorbetes de bambú sería más caro, aunque sean reutilizables. Del mismo modo, las bolsas de papel y tela son más caras y su producción requiere un 40% más de energía. Las bolsas de papel suelen ser de un solo uso, pero las de tela reutilizables también son menos higiénicas por su reutilización. La intervención de los gobiernos es vital para desarrollar mejores sustitutos e investigar formas de descomponer los plásticos, como el uso de bacterias capaces de digerirlos, o para convertirlos en combustible, como el pirólisis, o para su reutilización en materiales de construcción [53].

En 2015, las Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda comprende 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas medibles mediante 247 indicadores claros que abarcan disciplinas, sectores y mandatos institucionales. Desde la adopción de los ODS, los gobiernos y las empresas los han adoptado ampliamente para mejorar la sostenibilidad del mundo. Pese a la contaminación global por sedimentos, solo hay un indicador específico relacionado directamente con este tema, siendo el objetivo 14 fundamental para preservar y aprovechar sosteniblemente los océanos, mares al igual que los recursos marinos. En 2025 este ODS es fundamental para revertir y mitigar significativamente la contaminación

marina de todo tipo, especialmente aquella causada por actividades realizadas en tierra [42].

J. Guías de monitoreo y caracterización de basura en playas

Los residuos sólidos, específicamente los plásticos, en las playas, se han convertido en un problema ambiental a escala global, por eso el monitoreo para determinar la presencia de residuos plásticos en ambientes marinos es necesario para evaluar el alcance y posible impacto de la basura marina, teniendo como probables resultados métodos de mitigación como evaluación para reducir los impactos y comprobar la efectividad de tales medidas. Para obtener el mayor beneficio, es fundamental el uso de métodos coherentes y fiables en el muestreo y caracterización de muestras (ej. tamaño, tipo de material, color) [37].

A continuación, se describen tres guías metodológicas estandarizadas, que constituyen herramientas esenciales para el diseño y ejecución de estudios científicos que buscan comprender la magnitud, tipología y origen de los desechos en zonas costeras:

1. Guía PNUMA/COI sobre el estudio y seguimiento de la basura marina

Las directrices que establece el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) del año 2009, permiten monitorear desechos marinos en diferentes entornos (playas, columnas de agua y fondo marino) además de tener un enfoque flexible permitiendo ser aplicado por comunidades locales como por grupos científicos. Estas directrices se desarrollaron para establecer protocolos estandarizados que permitan la recolección sistemática de datos y el desarrollo de estrategias de mitigación eficaces a diferentes escalas (local, regional y global) [54].

El procedimiento en playas comienza con la selección del sitio de muestreo, el cual debe ser representativo y accesible, para lo cual la playa debe ser dividida en unidades de muestreo longitudinales (Fig. 5), donde se recolectan todos los desechos encontrados entre el borde del agua y la línea alta de marea; la recolección incluye la identificación, conteo de desechos, su clasificación por tipo y uso, al igual que la documentación de condiciones ambientales o eventos excepcionales, se recomienda que la frecuencia del muestreo sea regular (al menos cuatro veces al año). Para caracterizar plásticos, los residuos encontrados se clasifican según su forma, composición y material; variables como el peso, tamaño, color y tipo de polímero deben registrarse y complementarlos con observaciones cualitativas del entorno [54].

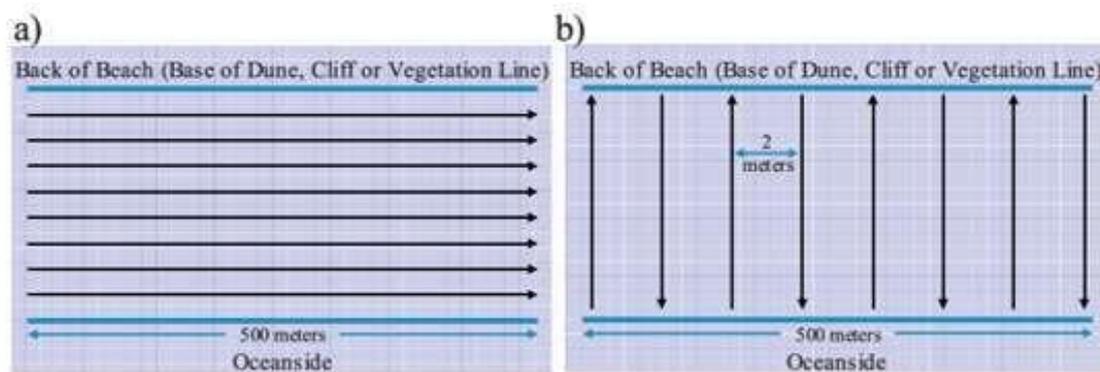


Fig. 5. Maneras para llevar a cabo el muestreo de basura marina en playas, propuestas por PNUMA/COI:

a) formación de transectos paralelos a la costa; b) establecer transectos perpendiculares a la costa.

Fuente: Cheshire et al [54].

2. *Guía para el seguimiento de los desechos marinos en las playas de la zona marítima OSPAR*

La guía de la Convención para la Protección del Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (OSPAR) del año 2010 es un referente europeo ampliamente utilizado, propone una metodología estandarizada con énfasis en la evaluación regional de residuos en playas, aunque, se utiliza comúnmente en países europeos, su estructura permite ser adaptada a otros contextos [55].

Las directrices de esta metodología establecen que se deben realizar al menos cuatro veces al año, en una unidad estándar de 100 m lineales de playa, se recomienda trabajar durante la marea baja, con referencia permanente del punto de muestreo mediante coordenadas obtenidas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los ítems recolectados son clasificados con ayuda de una guía fotográfica que facilita la identificación visual de objetos, incluyendo fragmentos plásticos no reconocibles, posteriormente son caracterizados por tamaño, tipo de material y uso. También, deben considerarse factores como condiciones meteorológicas, actividades humanas cercanas, eventos como festividades, y la interacción con programas de limpieza para llevar a cabo este procedimiento [55].

3. *Proyecto de vigilancia y evaluación de los desechos marinos de la NOAA. Guía de estudio del litoral*

La metodología Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (Fig. 6) proporciona un protocolo claro y replicable para el monitoreo en playas de Estados Unidos, pero adaptable a diferentes regiones. Este protocolo actualizado en 2021 destaca por su precisión técnica, participación ciudadana y facilidad de replicación. En sus directrices establece que el sitio de muestreo debe ser de 100 m, divididas en cuatro

transectos transversales de 5 m de ancho, donde se registran residuos superficiales mayores a 2,5 cm, cada transecto es inspeccionado por observadores entrenados, quienes recolectan, cuentan y clasifican los desechos. La información incluye características del sitio (geomorfología, acceso, influencia antrópica), tamaño de los residuos, material, estado (intacto o fragmentado), color, y posibles fuentes, también incluye pautas para adaptar ítems personalizados, controlar la calidad de los datos y aplicar análisis espaciales y temporales mediante software estadístico [56].

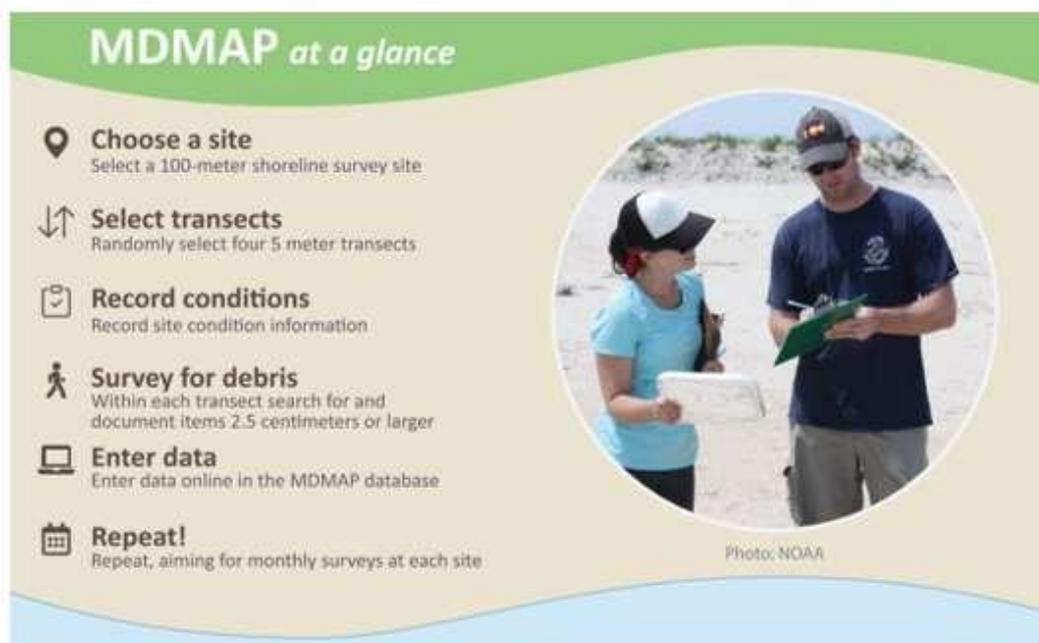


Fig. 6. Resumen de las directrices propuestas por el NOAA para la vigilancia y evaluación de los desechos marinos.

Fuente: Burgess et al [56].

VII. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque mixto, integrando evaluaciones cuantitativas y cualitativas para la recolección, procesamiento y análisis de datos (Fig. 7); mediante la caracterización de los MaP hallados en la arena de la playa de Jambelí de acuerdo con su tamaño, color y tipo de polímero para posteriormente cuantificar su concurrencia en el sitio de muestreo. La población de estudio está constituida por los MaP hallados en las muestras de arena de la playa, que se obtuvieron mediante un muestreo semi aleatorio, aplicando criterios de accesibilidad, representatividad de zonas turísticas, y diferenciación de zonas costeras.

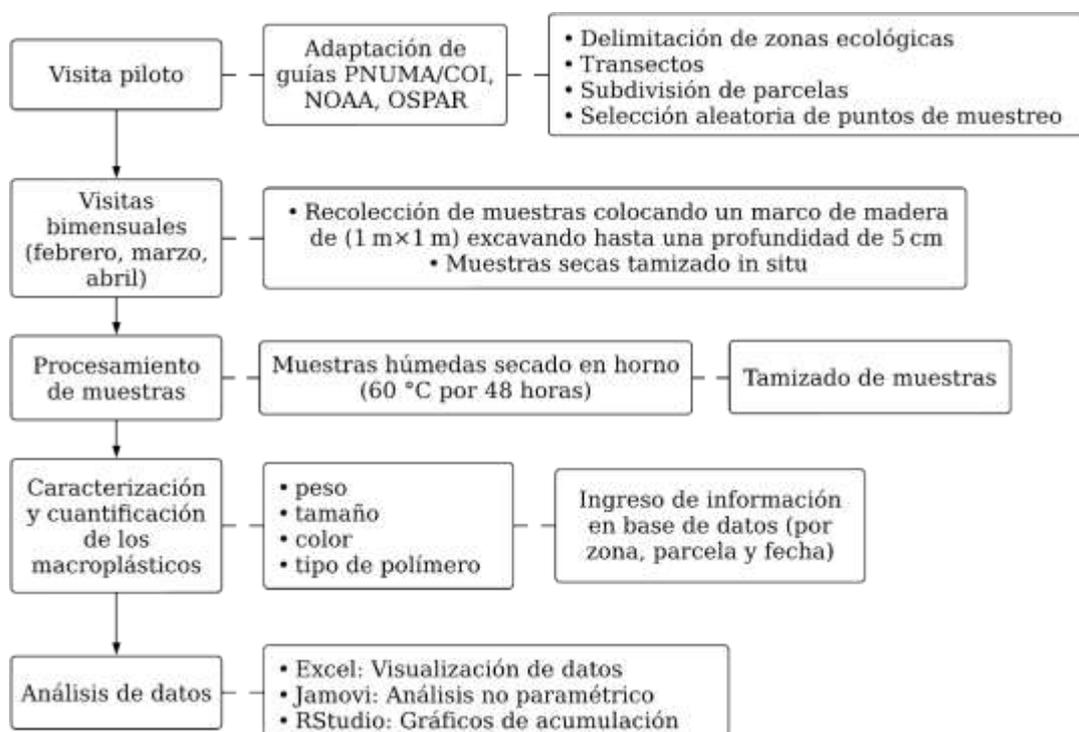


Fig. 7. Diagrama de flujo de la metodología usada para determinar y caracterizar macroplásticos en muestras de arena de la playa de Jambelí.

A. Área de estudio

La playa de Jambelí (Fig. 8), ubicada a 30 minutos en bote desde el muelle de Puerto Bolívar; tiene una extensión aproximada de 20 m de ancho y su temperatura promedio es de 22 °C. Este balneario se encuentra localizado en el sector oeste de la isla Jambelí, en la provincia de El Oro, costa sur del Ecuador [20].

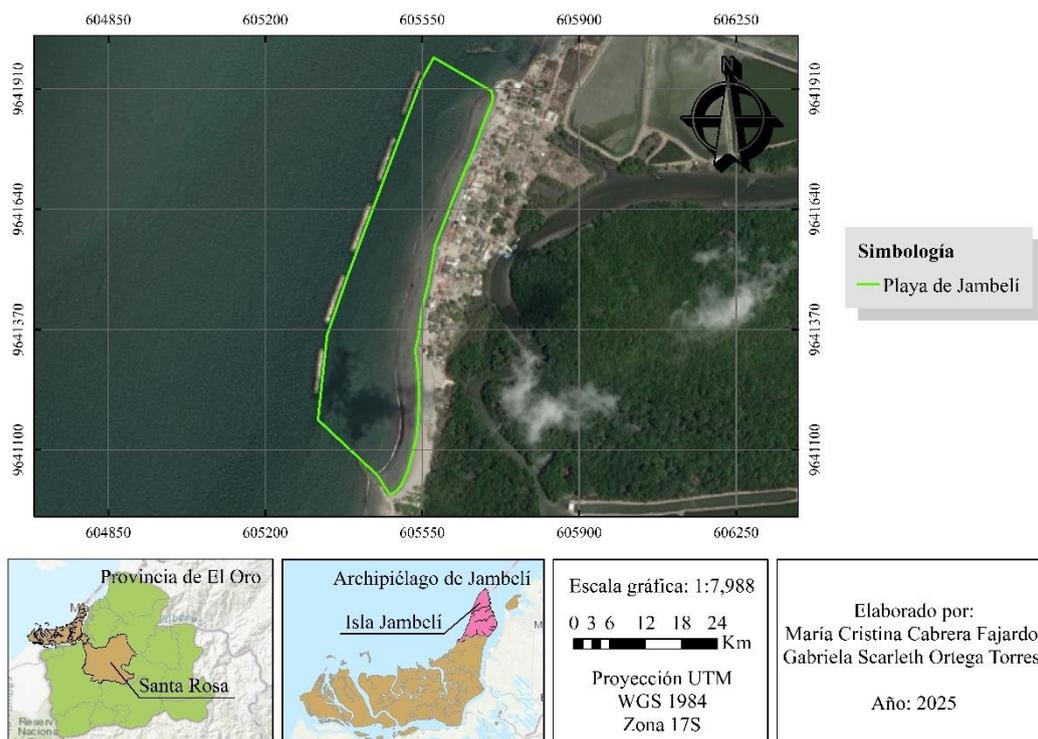


Fig. 8. Mapa de ubicación de la playa de Jambelí, provincia de El Oro.

B. Prueba piloto y adaptación de las metodologías de las guías de monitoreo y caracterización de basura en playas

Para la evaluación de la acumulación estacional de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí, se realizó inicialmente una visita piloto con el fin de adaptar las metodologías (TABLA I) propuestas en tres guías técnicas: la guía OSPAR para el monitoreo de basura marina en playas, la guía PNUMA/COI sobre monitoreo de basura marina y la guía NOAA para desechos marinos en línea costera, durante esta visita se ajustaron los procedimientos de acuerdo con las características geográficas y logísticas del área de estudio.

La playa fue delimitada en tres zonas ecológicas (supralitoral, mesolitoral e infralitoral), y en cada una se estableció un transecto de 1 km de longitud paralelo a la línea de la costa, el cual fue subdividido en 10 parcelas de 100 m de ancho, separadas entre sí por 5 m, conformando un total de 30 parcelas. En cada una de estas parcelas se seleccionó un punto aleatorio con la ayuda de una aplicación de GPS, los cuales fueron georreferenciados y definidos como puntos de muestreo permanentes (TABLA II) para facilitar su ubicación en visitas posteriores.

La recolección de muestras se realizó en seis visitas distribuidas bimensualmente, con un intervalo de 15 días, programadas según las tablas de marea del INOCAR para asegurar que la marea fuera en su punto más bajo durante las jornadas de muestreo.

TABLA I. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN LAS GUÍAS PNUMA/COI, OSPAR, NOAA Y ADAPTACIÓN AL CONTEXTO DE LA PLAYA DE JAMBELÍ

Elemento	Guía PNUMA/COI (2009)	Guía OSPAR (2010)	Guía NOAA (2021)	Adaptación de guías en la playa de Jambelí
Delimitación del área	100 m mínimo, recomendable 1 km	100 m y 1 km (objetos > 50 cm)	100 m en cuatro transectos de 5 m	1 km por tipo de zona (infralitoral, mesolitoral y supralitoral), subdividido en diez parcelas de 100 m de 5 m de ancho
Frecuencia del muestreo	Cada 3 meses o 1 vez al año	Cuatro veces al año (invierno, verano, primavera, otoño)	Mensual o trimestral	6 visitas bimensuales (cada 15 días)
Recolección de muestras	Recolección superficial	Recolección superficial	Recolección de ítems por transectos; se contabilizan y registran	Excavación a 5 cm de profundidad en un marco de 1x1 m
Categorización de basura	Por material, forma y posible origen (plástico, metal, madera, etc.)	Lista con códigos y apoyo visual en guía fotográfica	Lista con categorización de ítems; incluye tamaño (> 2,5 cm) y tipo de material	Peso, tamaño, color y tipo de polímero con guía fotográfica OSPAR
Manejo de datos	Plataforma de datos con protocolos QA/QC, reportes y análisis comparativos globales	Base de datos regional OSPAR	Plataforma online de NOAA	Base de datos en Excel

TABLA II. COORDENADAS POR PARCELA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Parcela	Zona de ubicación de la parcela	Coordenadas Este (X)	Coordenadas Norte (Y)
1A	Infralitoral	605458.583	9641039.187
1B	Mesolitoral	605470.127	9641024.605
1C	Supralitoral	605480.455	9641010.935
2A	Infralitoral	605491.695	9641083.538
2B	Mesolitoral	605502.631	9641075.944
2C	Supralitoral	605516.301	9641071.387
3A	Infralitoral	605506.580	9641198.974
3B	Mesolitoral	605524.199	9641198.974
3C	Supralitoral	605544.249	9641199.278
4A	Infralitoral	605491.999	9641295.576
4B	Mesolitoral	605511.137	9641295.880
4C	Supralitoral	605527.237	9641296.487
5A	Infralitoral	605496.555	9641378.204
5B	Mesolitoral	605513.871	9641377.900
5C	Supralitoral	605533.920	9641377.900
6A	Infralitoral	605527.237	9641480.578
6B	Mesolitoral	605543.641	9641477.540
6C	Supralitoral	605560.653	9641476.628
7A	Infralitoral	605567.032	9641603.912
7B	Mesolitoral	605580.095	9641601.178
7C	Supralitoral	605593.461	9641597.532
8A	Infralitoral	605597.714	9641684.413
8B	Mesolitoral	605609.257	9641683.502
8C	Supralitoral	605620.193	9641680.160
9A	Infralitoral	605641.154	9641780.407
9B	Mesolitoral	605653.305	9641780.104
9C	Supralitoral	605663.330	9641776.458
10A	Infralitoral	605689.455	9641895.236
10B	Mesolitoral	605700.087	9641887.945
10C	Supralitoral	605706.163	9641878.832

C. Caracterización y cuantificación de los macroplásticos

La caracterización y cuantificación de los MaP por tamaño, peso, color y tipo de polímero se llevó a cabo a partir de la recolección de muestras de arena en puntos previamente establecidos (Fig. 9), donde se ubicó un marco de madera de 1 m × 1 m, excavando hasta una profundidad de 5 cm con el uso de una pala de mano y un rastrillo. Las muestras obtenidas que se encontraban secas fueron tamizadas directamente en el sitio, mientras que las muestras húmedas se almacenaron en bolsas ziploc debidamente codificadas (fecha, hora zona y parcela) para ser transportadas al laboratorio, donde fueron secadas en un horno a 60 °C durante 48 horas. Una vez secas, las muestras fueron tamizadas manualmente y los MaP extraídos se almacenaron en bolsas individuales para su análisis.

Cada ítem plástico se caracterizó por su peso (con una balanza electrónica), tamaño (determinado con una regla), color (por inspección visual) y tipo de polímero (identificados mediante símbolos impresos y con la guía fotográfica de identificación de residuos OSPAR). Toda la información recolectada se registró en una base de datos.

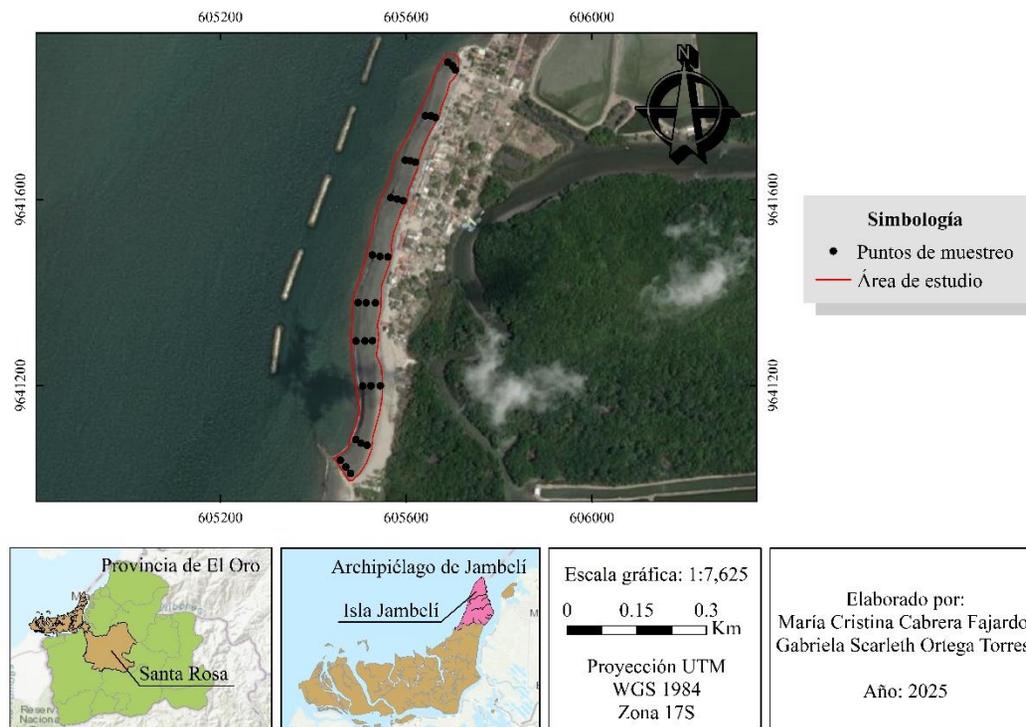


Fig. 9. Mapa de los puntos de recolección de muestras en las zonas infralitoral, mesolitoral y supralitoral en la playa de Jambelí.

D. Análisis de datos

La información de la base de datos fue analizada para la elaboración de gráficos de barras y que estas ilustraran visualmente la cantidad y el tipo de polímeros encontrados, su distribución por tipo de parcela (infralitoral, intermareal y supralitoral), al igual que el color de los MaP.

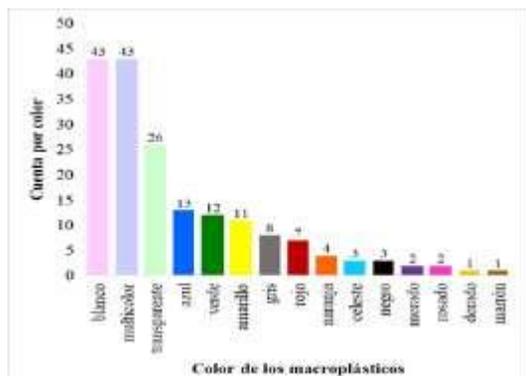
Las variables fueron analizadas mediante análisis no paramétrico, en donde se realizó una prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para determinar si los datos del peso total de los MaP seguían una distribución normal. El resultado indicó que los datos no siguen una distribución normal, razón por la cual se optó por el uso de pruebas no paramétricas. Posteriormente para establecer si existían disparidades significativas en la acumulación de MaP de los distintos tipos de parcela, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, adecuada para variables independientes con distribución no normal. Asimismo, se empleó esta misma prueba para evaluar si existía una relación significativa entre el color de los MaP y su tamaño.

Por último, se diseñaron scripts personalizados mediante el lenguaje de programación R, que facilitaron la creación de gráficos específicos que mostraran la acumulación de MaP según las variables consideradas, permitiendo una interpretación más detallada y una presentación visual adecuada para el análisis de los datos recopilados.

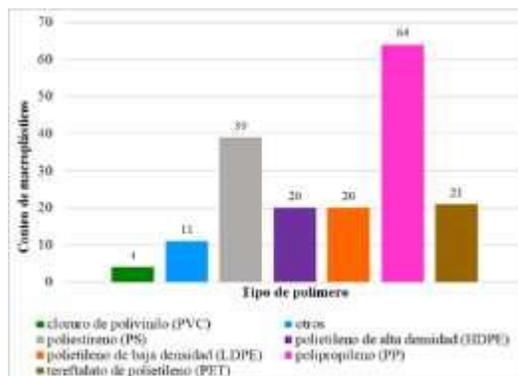
VIII. RESULTADOS

En las 6 visitas en las tres diferentes zonas (infralitoral, mesolitoral, supralitoral) en la playa de Jambelí, se recolectaron un total de 180 muestras que fueron posteriormente analizadas para encontrar MaP. Se pudo determinar un total de 179 unidades de MaP en el área de monitoreo (4,5 hectáreas) establecida. Los cuales fueron categorizados en función de su tamaño, peso, color y tipo de polímero. Se establecieron patrones de acumulación y los posibles vínculos con actividades humanas, esta caracterización es clave para entender su origen y formular estrategias de manejo ambiental.

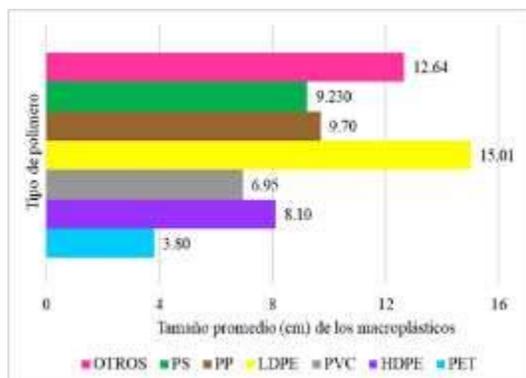
A. Caracterización y cuantificación de macroplásticos en función de tamaño, peso, color y tipo de polímero



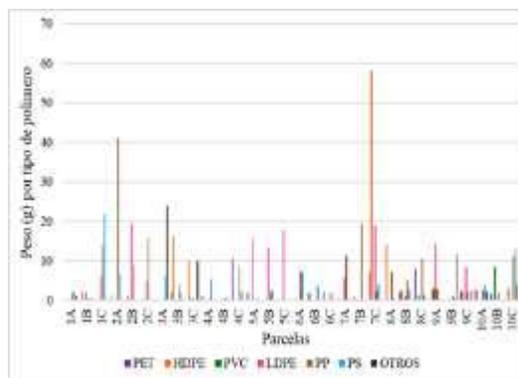
(a)



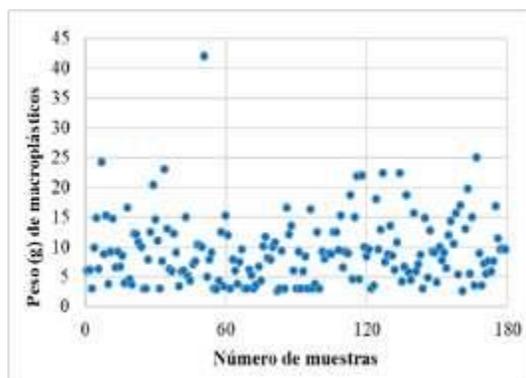
(b)



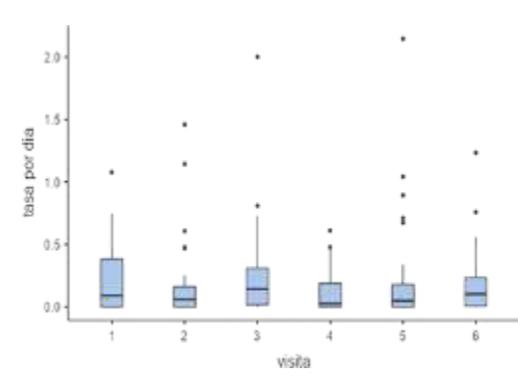
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 10. Distribución de colores registrados de los macroplásticos (a). Cantidad de macroplásticos registrados por tipo de polímero (b). Tamaño promedio de macroplásticos acorde al tipo de polímero (c). Distribución del peso por tipo de polímero de macroplásticos en las parcelas (d). Peso (g) de macroplásticos según el número de unidades de macroplásticos recolectados (e). Distribución de datos de la tasa de visitas calculada por día (g/día/m²) (f).

1. *Conteo de macroplásticos de acuerdo con su color*

El conteo de macroplásticos de acuerdo con su color (Fig. 10a), muestra una clara predominancia de los colores blanco, multicolor y transparente, los cuales representan la mayor parte de los registros, estos colores son típicos de productos de un solo uso como bolsas, empaques, tapas o fragmentos de envases degradados. Por otro lado, los colores marrón, dorado, rosado y morado se presentan con muy baja frecuencia, esta distribución sugiere una tendencia en los residuos a provenir de productos de uso común, lo cual refuerza la hipótesis de que gran parte de los MaP tiene un origen doméstico. Además, los colores más claros podrían tener consecuencias ecológicas importantes, ya que son más propensos a ser ingeridos por la fauna marina debido a que suelen confundirse con presas.

De acuerdo con el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis se muestra que el tamaño de los MaP depende del color ya que la diferencia entre los tamaños de los distintos colores de MaP es estadísticamente diferente ($H_{14} = 59.3$, $p = 0.001$), por lo cual el color influye el tamaño de los MaP hallados en la zona de estudio.

2. *Cuantificación de macroplásticos acorde al tipo de polímero*

La cuantificación de macroplásticos acorde al tipo de polímero (Fig. 10b), muestra el número total de unidades de MaP recolectadas para cada tipo de polímero, independientemente de su ubicación, en donde el PP fue el polímero más frecuente, con un total de 64 unidades encontradas, seguido por la categoría otros (39 unidades), PET y LDPE ambos con 20 unidades de MaP. Le siguen el HDPE (21 unidades), el PS que cuenta con 11 unidades y, en menor proporción el PVC con solo 4 unidades.

3. *Tamaño promedio registrado de macroplásticos según su tipo de polímero*

El tamaño promedio de los macroplásticos según su tipo de polímero (Fig. 10c), revela diferencias notables entre materiales. Se puede visualizar que el polímero LDPE presenta el tamaño promedio más elevado (15,01 cm), seguido de los polímeros clasificados como otros (12,64 cm) y PP con 9,70 cm. En contraste, el PET muestra el tamaño promedio más bajo (3,80 cm), estos resultados sugieren que ciertos tipos de polímeros, como el LDPE, tienden a presentarse en fragmentos más grandes, posiblemente debido a su uso en objetos voluminosos como bolsas o envoltorios, mientras que el PET, son derivados comúnmente de

botellas y envases. Esta variación en el tamaño puede tener implicaciones importantes sobre el transporte, la degradación y el impacto ecológico de los MaP en el ecosistema costero.

4. *Peso de los macroplásticos según su tipo de polímero en las parcelas*

La distribución del peso de MaP recolectados por parcela diferenciadas según el tipo de polímero (Fig. 10d), se incluyen siete categorías principales: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS y “otros”. Los datos demuestran que existe una marcada variabilidad espacial en la cantidad de residuos plásticos acumulados. Entre todas las parcelas, destaca de forma notable la parcela 7C, donde se registró un pico de acumulación del polímero HDPE cercano a los 65 g, siendo este la más alta registrada para un tipo de polímero en todo el muestreo. Asimismo, se observaron valores relativamente altos de ciertos polímeros en parcelas como 2B, 8B, 9B y 10A, principalmente en las categorías de HDPE, PP y PS. Por otro lado, varias parcelas muestran valores bajos de peso para la mayoría de los polímeros, lo que sugiere una dispersión heterogénea de residuos plásticos a lo largo del área de estudio.

5. *Peso de macroplásticos acorde al número de muestras*

La relación entre el número de muestras recolectadas y el peso (Fig. 10e) de MaP muestra que en el gráfico de dispersión cada punto representa una muestra individual, con su respectivo peso total de MaP. En general, los datos presentan una alta variabilidad en los valores de peso, sin observarse una tendencia clara entre el número de muestras y el peso registrado. La mayoría de las muestras tienen un peso comprendido entre 5 g y 15 g, aunque existen algunos valores atípicos por encima de los 30 g, se destaca una muestra con un peso cercano a los 43 g, siendo así que, el gráfico evidencia que la cantidad de unidades recolectadas no necesariamente implica un mayor peso, lo cual es importante al momento de evaluar la carga plástica en el ambiente.

6. *Tasa acumulada del peso por visita*

La tasa de acumulación del peso por visita (Fig. 10f) muestra cierta variabilidad entre las visitas, sin una tendencia clara de aumento o disminución progresiva; se puede observar que las visitas 3 y 5 registran los valores más altos, mientras que, la visita 4 presenta la tasa más baja. Sin embargo, las barras de error sugieren una alta dispersión en los datos, lo que implica que estas diferencias podrían no ser estadísticamente significativas. En este sentido, se observa que la acumulación por peso varía de forma moderada entre visitas, posiblemente influenciada por condiciones ambientales, actividades humanas o dinámica de transporte de

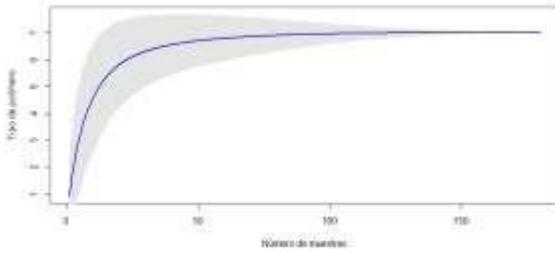
residuos plásticos. Además, los valores del peso acumulado de los MaP obtenidos en las seis visitas en la playa de Jambelí, muestran que, la zona supralitoral concentra los mayores valores de acumulación, tanto en peso total como en los valores de tasa diaria. Siendo así, que la parcela 7C se destaca debido a que tiene un valor acumulado final de 90,58 g y una tasa de 3,57 g/día/m², seguida por la parcela 2A con 49,68 g y 3,54 g/día/m², y la parcela 3A con 30,08 g y 2,25 g/día/m². Por otro lado, varias de las parcelas en la zona mesolitoral presentaron acumulaciones significativamente menores, como es el caso de la parcela 4B, que apenas alcanzó 1,10 g y una tasa de 0,02 g/día/m²; a lo largo de las seis visitas, se observa un crecimiento acumulativo en la mayoría de las parcelas; algunas de ellas, como la 2B y la 8C presentan incrementos abruptos entre la tercera y quinta visita (TABLA III).

TABLA III. TASA ACUMULADA DEL PESO POR VISITA DE LOS MACROPLÁSTICOS HALLADOS EN LA PLAYA DE JAMBELÍ

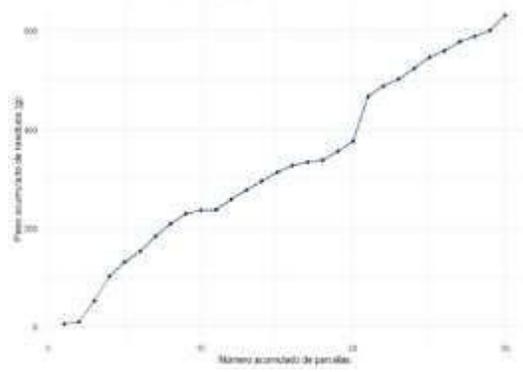
Parcelas	Tipo de parcela	Peso acumulado visita 1	Peso acumulado visita 2	Peso acumulado visita 3	Peso acumulado visita 4	Peso acumulado visita 5	Peso acumulado visita 6	Tasa de acumulación por día (g/día/m ²)
1A	Infralitoral	0	0	2.18	3.28	3.28	5.24	0.20
1B	Mesolitoral	2.98	4.9	4.9	4.90	4.90	4.96	0.39
1C	Supralitoral	3.38	25.28	25.28	34.44	35.88	42.00	2.34
2A	Infralitoral	32.3	39.44	41.7	41.70	46.76	49.68	3.54
2B	Mesolitoral	0	1.78	13.92	18.38	29.02	31.72	1.34
2C	Supralitoral	0	0	0.01	7.19	20.59	21.17	0.69
3A	Infralitoral	22.38	22.38	28.42	28.42	28.42	30.08	2.25
3B	Mesolitoral	15.34	16.66	17.1	17.11	19.15	22.85	1.52
3C	Supralitoral	10.78	10.78	10.78	11.38	21.50	21.50	1.22
4A	Infralitoral	4.56	5.62	5.74	5.96	6.82	6.82	0.50
4B	Mesolitoral	0	0	0	0	0.62	1.10	0.02
4C	Supralitoral	12.1	14.6	15.38	21.06	21.06	21.12	1.48
5A	Infralitoral	0	0	2.52	2.52	18.16	18.16	0.58
5B	Mesolitoral	0	2.62	4.58	11.48	11.50	18.00	0.68
5C	Supralitoral	11.26	11.26	17.78	17.78	18.00	18.01	1.33
6A	Infralitoral	1.16	1.4	7.16	7.50	7.50	14.60	0.55
6B	Mesolitoral	5.42	5.42	6.76	6.76	7.18	7.18	0.55
6C	Supralitoral	0	0.01	2.15	2.59	2.59	4.01	0.16
7A	Infralitoral	1.7	10.8	11.64	17.26	17.26	17.54	1.07
7B	Mesolitoral	2.18	19.34	19.34	19.40	19.57	20.47	1.41

7C	Supralitoral	2.38	9.42	39.44	39.88	72.06	90.58	3.57
8A	Infralitoral	14.48	14.48	18.48	21.24	21.24	21.54	1.57
8B	Mesolitoral	4.74	6.86	7.16	10.04	12.00	13.66	0.77
8C	Supralitoral	0.54	0.54	11.46	11.46	12.86	21.22	0.82
9A	Infralitoral	14.36	14.36	17.02	19.86	22.78	22.99	1.57
9B	Mesolitoral	11.54	12.28	12.52	12.52	13.76	13.76	1.08
9C	Supralitoral	0	1.88	6.72	9.04	10.18	17.30	0.64
10A	Infralitoral	2.38	2.38	4.96	4.96	8.76	11.34	0.49
10B	Mesolitoral	0	1.65	10.21	10.21	10.21	12.09	0.62
10C	Supralitoral	13.84	17.6	21.38	21.84	21.84	33.22	1.83

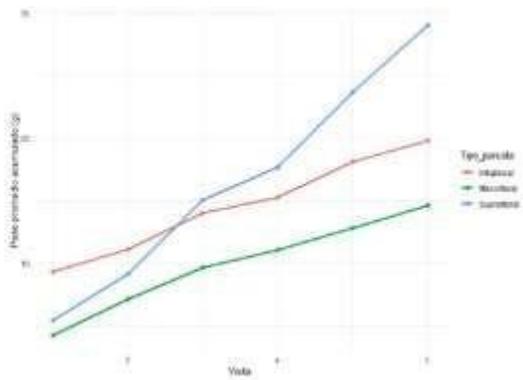
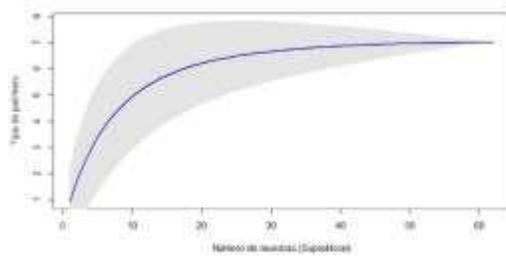
B. Acumulación estacional de macroplásticos



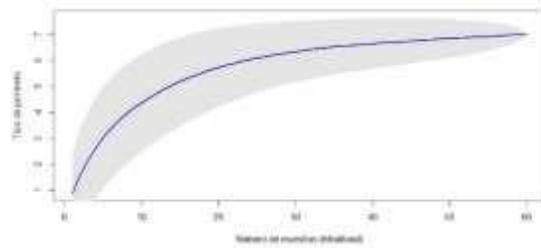
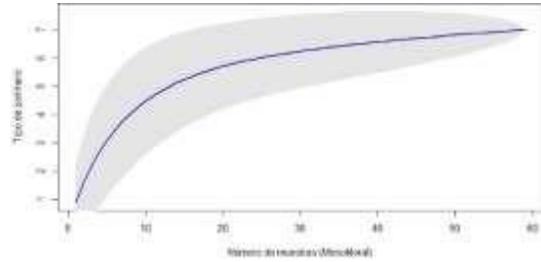
(a)



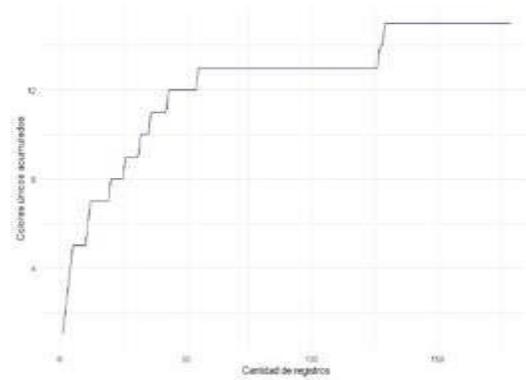
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 11. Acumulación de macroplásticos de acuerdo con el tipo de polímero (a). Acumulación del peso total de macroplásticos por el número de parcelas (b). Acumulación del peso de macroplásticos por tipo de parcela (c). Acumulación en los tipos de parcelas con relación al número total muestras (d). Acumulación de colores acorde al número total de muestras (e).

Nota: (a) y (b) El área sombreada en gris, que representa el intervalo de confianza, es más amplia en las primeras muestras debido a la mayor variabilidad en la detección, y se reduce a medida que se acumulan más datos, lo que refleja una mayor estabilidad en los resultados conforme avanza el muestreo.

1. *Acumulación de acuerdo con el tipo de polímero*

La acumulación por tipo de polímero (Fig. 11a) evidencia un crecimiento rápido en la identificación del tipo de material en las primeras muestras, seguido de una tendencia asintótica a partir de aproximadamente 100 muestras, donde la línea se estabiliza alrededor del valor 7 en el eje Y, lo que indica que la mayoría de los tipos de polímeros presentes en el entorno fueron identificados tempranamente, y que el esfuerzo de muestreo no aportó significativamente a la identificación de nuevos tipos de polímero. El área sombreada en gris, que representa el intervalo de confianza, es más amplia en las primeras muestras debido a la mayor variabilidad en la determinación de MaP, y se reduce a medida que se acumulan más datos, lo que refleja una mayor estabilidad en los resultados conforme avanza el muestreo. El estimador Chao1 corrobora una coincidencia entre la riqueza observada y la riqueza estimada, lo cual indica una cobertura completa de la diversidad de polímeros en las 180 muestras analizadas, siendo así que los polímeros fueron completamente identificados en el sitio muestreado.

2. *Acumulación del peso total por el número parcelas*

La acumulación del peso total por el número parcelas (Fig. 11b) muestra que en el eje horizontal se representa el número acumulado de parcelas, mientras que en el eje vertical se presenta el peso acumulado de MaP (en gramos), cabe destacar que se observan tramos de crecimiento más abrupto, a partir de la parcela número 20, lo que evidencia la existencia de zonas con mayor concentración de residuos. De acuerdo con el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis se evidencia que el peso de los MaP por tipo de parcela no fue significativamente distinto ($H_2 = 2.57$, $p = 0.276$), por lo cual la distribución de MaP en la zona de estudio es homogénea y no depende del tipo de parcela estudiada.

El estimador Chao1 indica que las muestras recolectadas no cubrieron toda la variedad de residuos presentes en la zona de estudio, siendo así que, si el muestreo hubiera continuado en parcelas adicionales a las existentes se podría haber identificado más residuos.

Los pesos totales de MaP recolectados, muestran que, de las tres zonas, el supralitoral evidenció la mayor acumulación de residuos, en este caso las parcelas 7C y la 1C, son las que superan valores a 20 g. Por su parte, en la zona infralitoral mostró una distribución más variable, con picos altos en algunas parcelas (como la 2A y la 3A), asimismo, las parcelas de

tipo mesolitoral presentaron una acumulación intermedia, con algunos registros elevados como en la parcela 7B, pero sin un patrón de carga persistente (TABLA IV).

TABLA IV. PESO TOTAL DE MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LAS VISITAS EN LA
PLAYA DE JAMBELÍ

Parcelas	Tipo de parcela	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso
		total visita 1	total visita 2	total visita 3	total visita 4	total visita 5	total visita 6
1A	Infralitoral	0	0	2.18	1.10	0	1.96
1B	Mesolitoral	2.98	1.92	0	0	0	0.06
1C	Supralitoral	3.38	21.90	0	9.16	1.44	6.12
2A	Infralitoral	32.30	7.14	2.26	0	5.06	2.92
2B	Mesolitoral	0	1.78	12.14	4.46	10.64	2.70
2C	Supralitoral	0	0	0.01	7.18	13.40	0.58
3A	Infralitoral	22.38	0	6.04	0	0	1.66
3B	Mesolitoral	15.34	1.32	0.44	0.01	2.04	3.70
3C	Supralitoral	10.78	0	0	0.60	10.12	0
4A	Infralitoral	4.56	1.06	0.12	0.22	0.86	0
4B	Mesolitoral	0	0	0	0	0.62	0.48
4C	Supralitoral	12.10	2.50	0.78	5.68	0	0.06
5A	Infralitoral	0	0	2.52	0	15.64	0
5B	Mesolitoral	0	2.62	1.96	6.9	0.02	6.50
5C	Supralitoral	11.26	0	6.52	0	0.22	0.01
6A	Infralitoral	1.16	0.24	5.76	0.34	0	7.10
6B	Mesolitoral	5.42	0	1.34	0	0.42	0
6C	Supralitoral	0	0.01	2.14	0.44	0	1.42
7A	Infralitoral	1.70	9.10	0.84	5.62	0	0.28
7B	Mesolitoral	2.18	17.16	0	0.06	0.17	0.90
7C	Supralitoral	2.38	7.04	30.02	0.44	32.18	18.52
8A	Infralitoral	14.48	0	4.00	2.76	0	0.30
8B	Mesolitoral	4.74	2.12	0.30	2.88	1.96	1.66
8C	Supralitoral	0.54	0	10.92	0	1.40	8.36
9A	Infralitoral	14.36	0	2.66	2.84	2.92	0.21
9B	Mesolitoral	11.54	0.74	0.24	0	1.24	0
9C	Supralitoral	0	1.88	4.84	2.32	1.14	7.12
10A	Infralitoral	2.38	0	2.58	0	3.80	2.58
10B	Mesolitoral	0	1.65	8.56	0	0	1.88
10C	Supralitoral	13.84	3.76	3.78	0.46	0	11.38

3. *Acumulación del peso de macrolásticos por tipo de parcela*

La acumulación del peso de macrolásticos por tipo de parcela (Fig. 11c) presenta una diferenciación de los resultados con respecto al tipo de parcela a lo largo de distintas visitas de monitoreo, esta representación permite comparar la intensidad de acumulación en los diferentes sectores de la zona muestreada. Siendo así que, las parcelas de tipo infralitoral muestran la mayor acumulación de MaP, con una curva que crece más rápidamente en comparación con las demás; esta tendencia indica que esta zona (infralitoral) actúa como un punto de mayor retención de residuos, posiblemente debido a su proximidad al mar. En contraste, los tipos de parcelas mesolitoral y supralitoral presentan curvas más suaves, siendo la zona supralitoral la que registra la menor acumulación promedio, esto debido a su ubicación más alejada del frente de marea y menor influencia directa de corrientes marinas.

En cuanto al estimador Chao1, indica que en las parcelas ubicadas en la zona supralitoral existe una diversidad elevada en cuanto al peso, los cuales han sido determinados adecuadamente. Por otro lado, en la zona infralitoral el peso acumulado es bajo, siendo así que, no se puede determinar mayor variabilidad correspondientes a este factor.

4. *Acumulación en los tipos de parcelas con relación al número total muestras*

La acumulación en los tipos de parcelas con relación al número total de muestras (Fig. 11d), correspondiente a la zona supralitoral muestra una tendencia clara hacia la saturación, indicando que el esfuerzo de muestreo ha sido suficiente para determinar la mayoría de los tipos de polímero presentes en esta zona. Al principio, la curva tiene una pendiente pronunciada, lo que implica una alta tasa de identificación de polímeros conforme el número de muestras se incrementa, no obstante, después de aproximadamente 30 muestras, la curva se aplanan, con una pendiente muy leve hacia el final, acercándose a un valor cercano a los 7 tipos de polímero. La banda de incertidumbre (en gris) también se estrecha con el aumento de las muestras, lo que refuerza la confiabilidad del patrón observado, esto sugiere que la identificación de los tipos de polímero en esta zona está prácticamente completa. El análisis del estimador Chao1 confirma esta tendencia y sugiere que no hay evidencia de tipos de polímero adicionales o que no hayan sido determinados en la zona supralitoral además respalda la idea de que se ha alcanzado una cobertura casi total de los tipos de polímeros presentes en esta zona.

Mientras que, en la zona mesolitoral muestra un patrón creciente que tiende hacia la saturación, lo cual indica que con un muestreo se ha logrado determinar gran parte de los tipos de polímero presentes en esta zona. Al inicio, la curva se eleva de forma pronunciada, reflejando una alta tasa de aparición de nuevos tipos de polímeros con cada muestra adicional. Sin embargo, a partir de aproximadamente 30 muestras, la pendiente comienza a disminuir visiblemente, lo que sugiere una reducción en la probabilidad de hallar nuevos polímeros. La curva se aproxima a un valor asintótico cercano a los 7 tipos, y la banda gris que representa la variabilidad también se estrecha hacia el final, indicando mayor consistencia en la estimación a medida que aumenta el número de muestras, aunque la curva aún no se ha estabilizado completamente, la tendencia indica que se ha alcanzado un punto cercano a la riqueza total de polímeros presentes en esta zona. El análisis del estimador Chao1 refleja que el muestreo ha sido casi completo, pero no excluye del todo la posibilidad de que una intensificación del esfuerzo de muestreo revele algún tipo de polímero no identificado presente en la zona mesolitoral.

En cuanto a la zona infralitoral, muestra una tendencia de crecimiento progresivamente más lenta conforme aumenta el número de muestras recolectadas. En las primeras etapas del muestreo (entre 1 y 20 muestras), se evidencia que cada nueva muestra aportó información relevante sobre la diversidad de los tipos de polímeros. Pero, desde la muestra 30, la curva comienza a estabilizarse. La banda gris que acompaña la curva representa la variabilidad, y aunque se ensancha en algunos tramos, converge hacia el final, lo que sugiere mayor certeza en las estimaciones de riqueza a medida que el muestreo avanza. El estimador Chao1, indica que en esta zona (infralitoral) podrían haber existido registros únicos o poco frecuentes, lo que deja abierta la posibilidad de que haya tipos de polímero aún no detectados.

5. *Acumulación de colores acorde al número total de muestras*

La acumulación de colores acorde al número de muestras (Fig. 11e) evidencia un incremento rápido en el número de colores únicos detectados durante las primeras muestras, lo que indica una alta diversidad inicial en cuanto a los colores; sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de registros, la curva tiende a estabilizarse, alcanzando un máximo de 14 colores identificados. Esta estabilización sugiere que el esfuerzo de muestreo ha sido idóneo para definir la mayoría de variaciones de color presentes en el área de estudio.

El estimador Chao1, sugiere que la riqueza observada se acerca a la riqueza verdadera de los colores presentes en la zona de estudio, lo cual indica que la probabilidad de encontrar más colores conforme se realizan más muestreos disminuye, implicando una saturación en la diversidad cromática de los residuos plásticos recolectados.

C. Potenciales interacciones de los macroplásticos con el turismo y los asentamientos humanos

1. Distribución espacial de la acumulación

El análisis de acumulación por tipo de parcela reveló que la zona infralitoral mostró la mayor acumulación promedio de MaP, aunque esta zona está influenciada por la dinámica marina, la existencia de altos picos de acumulación en determinadas parcelas, al igual que, la alta variabilidad entre las parcelas con algunos puntos extremos, sugieren que podrían deberse a eventos puntuales como mareas, lluvias intensas, descargas directas de residuos, o a la cercanía a fuentes de contaminación, las cuales pueden estar relacionadas con asentamientos humanos o actividades turísticas en la playa de Jambelí.

2. Caracterización por color y tipo de polímero

Los resultados de la caracterización mostraron una clara predominancia de colores como el blanco, multicolor y transparente, estos colores son comunes en productos de un solo uso como son las bolsas, empaques, tapas o fragmentos de envases.

En el caso de los polímeros predominantes fueron PP, PET y LDPE. La alta frecuencia de este tipo de materiales refuerza la hipótesis de que gran parte de los MaP tiene un origen doméstico, productos comúnmente asociados con el consumo humano en actividades cotidianas o turísticas. El LDPE, que mostró el tamaño promedio más alto, se relaciona con el uso en objetos voluminosos como bolsas o envoltorios.

3. Heterogeneidad y variabilidad

La acumulación de los MaP y los datos de peso por muestra evidenciaron una alta variabilidad que indica heterogeneidad en cuanto a la distribución y el peso de los MaP, lo cual podría reflejar patrones de desecho plásticos asociados con actividades humanas específicas en diferentes puntos de la playa o áreas cercanas.

IX. DISCUSIÓN

A. Caracterización y cuantificación de los macroplásticos en función de tamaño, peso, color y tipo de polímero

Los resultados obtenidos revelaron que los MaP recolectados presentaban tamaños que variaron desde 3,8 cm (PET) hasta 15,01 cm (LDPE), siendo este último el de mayor tamaño promedio. La clasificación de plásticos por tamaño podría compararse con el estudio realizado por [40] en el Mar del Plata, donde establece que, la categoría predominante fueron los MeP, representando el 51% del total de residuos plásticos, mientras que [57], señala que, aunque se reportó una alta variabilidad para desechos de MaP y MeP, la mayoría de los fragmentos identificados se encontraban en el rango de tamaño de los MP.

En cuanto a la cuantificación de MaP investigaciones realizadas por [58] y [59], reportaron sus resultados utilizando la unidad de ítems por metro cuadrado (ítems/m²); mientras que [60] y [61] han establecido sus resultados como ítems por 100 metros cuadrados (ítems/100 m²) o de acuerdo con [62] lo ha hecho mediante la unidad peso por área (g/m). La densidad de macroplásticos encontrada en Jambelí fue de aproximadamente 1 unidad de MaP/m², teniendo en cuenta los 179 unidades encontrados en las 180 muestras obtenidas, lo cual podría compararse con valores reportados en otras regiones del mundo, como en la costa sudeste de India cuyos rangos fueron de $1,38 \pm 78$ a $6,16 \pm 94$ ítems/m² y hasta 616 ítems/100 m² (equivalente a 6,16 ítems/m²) en el sitio con mayor acumulación, mientras que, en la playa Pasir Pandak, Malasia, en donde [60] reporta rangos equivalentes a 0,4 – 14,7 ítems/m², y que supera ligeramente los resultados obtenidos por [63] en la laguna costera Urias, México (0,8 hasta 1,2 ítems/m²), al igual que en la Bahía de Sarangani, Filipinas, en donde [58] obtuvo rangos de 0,30 a 1,0 ítems/m², mientras que en Túnez [12] obtuvo hasta 4,08 ítems/m², pero que es notablemente menor a Mar del Plata, Argentina en donde se obtuvo densidades significativamente variables entre sitios muestreados, con un máximo de 136 ± 79 ítems/m² y un mínimo de $1,5 \pm 2$ ítems/m² [40].

La prevalencia de ciertos colores de MaP (blanco, transparente y multicolor) es un hallazgo común en los estudios. Aunque en la costa argelina [64] no encontró una correlación clara entre el color, la forma, el tamaño y la ubicación, por otro lado, la dominancia de colores como transparente, blanco, negro y azul ha sido reportada por [60], estos colores a menudo

se relacionan a polímeros y productos específicos como botellas de bebidas transparentes (PET) o tapas azules (HDPE/PP).

Finalmente, la identificación de los tipos de polímeros predominantes en los MaP hallados en Jambelí muestra una tendencia similar a la de otros estudios, con el dominio del PP, LDPE, HDPE, PET y PS. Siendo así que, la menor presencia del polímero PVC (solo 4 unidades) refuerza la idea de que los polímeros más ligeros y flotantes son los que más comúnmente se acumulan en la zona intermareal. Sin embargo, los estudios realizados por [43], [65] y [66] concuerdan en que el PET, HDPE, LDPE y el PP son los polímeros más comunes encontrados en las playas. Esta prevalencia se atribuye a su baja densidad, lo que facilita su flotación y transporte por corrientes, asimismo la presencia de los polímeros PET y PS también es frecuente de acuerdo con [65]. En el caso de la identificación de polímeros mediante técnicas como FTIR realizado por [63] o la técnica de análisis térmico DSC (Calorimetría por Barrido Diferencial) realizada por [43], indica que estas técnicas son fundamentales para confirmar la composición de los residuos plásticos.

B. Evaluación de la acumulación estacional de macroplásticos en la arena de la playa de Jambelí

Los resultados mostraron una acumulación más alta de MaP durante las visitas 3 y 5, con valores de peso promedio que alcanzaron hasta 43 g por muestra en algunos casos, mientras que la visita 4 los valores fueron más bajos en cuanto la acumulación. No se observó una tendencia lineal clara entre visitas, ya que la variabilidad fue elevada y estuvo marcada por valores atípicos. De acuerdo con [40], identificó que el factor estacional influye en la abundancia de plásticos, asociado con períodos de mayor uso turístico y descargas continentales, a pesar de los esfuerzos de limpieza. De manera similar [61] y [63] indican que la intensidad en cuanto al uso recreacional, al igual que, la influencia de descargas de agua dulce o fuentes continentales cercanas se correlacionan con mayores concentraciones de plásticos en playas. Siendo así que, si la playa de Jambelí llegase a experimentar fluctuaciones significativas en la afluencia turística o variaciones estacionales en las descargas de ríos o esteros cercanos, estos factores podrían explicar los patrones de acumulación observados.

Por otro lado, el estudio de [60] en la playa Pasir Pandak de Malasia, no encontró una relación aparente entre la abundancia de MaP y MP en las zonas de muestreo, aunque sí

destacó que la abundancia general de los plásticos estaba influenciada principalmente por las fuentes terrestres de contaminación. Es relevante considerar la dinámica de la playa, así como las condiciones meteorológicas y el perfil costero (tipo de sustrato, pendiente, curvatura), ya que, estos factores pueden impactar significativamente la acumulación de restos plásticos en la orilla; la densidad, forma y tamaño de los plásticos además de que estos factores son importantes para entender cómo se acumulan y entierran en el sedimento [41].

C. Potenciales interacciones de los macroplásticos con el turismo y los asentamientos humanos

La acumulación estacional y la caracterización de macroplásticos en Jambelí evidenciaron una alta heterogeneidad espacial en la distribución de residuos plásticos, con picos de acumulación marcados en parcelas específicas como la 7C (≈ 65 g de HDPE), y un predominio de polímeros asociados a productos de consumo doméstico, como PP, LDPE y PET. Considerando lo mencionado, el estudio de [67] demuestra una alta variabilidad y heterogeneidad en la distribución y el peso de los plásticos en las playas. En el caso de [40] en las playas de Mar del Plata, la abundancia total de plásticos difería significativamente entre los sitios muestreados, mientras que, en Aquatina di Frigole (Italia), [43] observó una alta variabilidad en el número y peso de los ítems de plástico a lo largo del transecto de la playa. De acuerdo con [58], esta heterogeneidad se atribuye a menudo a las actividades humanas y a las condiciones ambientales.

El color de los residuos (blanco, multicolor y transparente) y el tipo de polímero refuerzan la hipótesis de que su origen está vinculado a actividades humanas costeras, particularmente el turismo y los asentamientos cercanos, lo cual refleja patrones de desecho en diferentes puntos de la playa o áreas adyacentes. Siendo así que, para [58] las playas cercanas a zonas residenciales, con alta densidad de población y actividades humanas intensivas (turismo y pesca), tienden a presentar mayores concentraciones de plástico. Asimismo, en Santa Marta, Colombia, [67] observó que los visitantes y vendedores fueron identificados como las principales fuentes de basura marina en las playas turísticas. Por otra parte, [62] menciona que, en Langkawi, Malasia, las zonas con restaurantes y hoteles turísticos mostraron la mayor abundancia de MP debido a la alta actividad turística.

X. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron determinar la presencia de MaP en la playa de Jambelí, donde se registraron 179 unidades de MaP en un área total de 4,5 ha, lo que representa una densidad aproximada de 1 unidad de MaP/m², esta densidad, aunque menor en playas urbanizadas como Mar de la Plata (Argentina), es comparable a la reportada en regiones como México, Filipinas y Túnez, posicionando a Jambelí dentro del rango medio de contaminación por MaP.

En cuanto a la caracterización de los MaP, la investigación permitió identificar que el PP, fue el polímero más abundante seguido de otras categorías como PET, LDPE, HDPE y otros; los colores predominantes fueron blanco, multicolor y transparente, lo cual podría indicar un origen común vinculado a productos de consumo diario como bolsas, botellas, utensilios desechables y envoltorios de comida. Esta variedad en los colores, combinada con los tipos de polímeros, indica que los MaP provienen de múltiples fuentes, entre ellas residuos domiciliarios y actividades recreativas.

El tamaño promedio de las unidades de MaP osciló entre 3,8 cm y 15,01 cm, y su peso varió entre 5 y 43 g, lo que indica la presencia de fragmentos considerables que podrían causar daños a la fauna marina o convertirse con el tiempo en MeP o MP mediante procesos de fragmentación.

Se constató que la acumulación de MaP en la playa de Jambelí presenta una marcada variabilidad estacional, influenciada por factores naturales y antropogénicos. La mayor acumulación de peso por MaP se observó durante la visita 3 y 5, indicando posibles picos en las actividades turísticas o deficiencias en cuanto a la gestión de residuos sólidos en determinados periodos del año, esta irregularidad sugiere que no existe un patrón climático único que modifica la deposición de los residuos plásticos a lo largo del año.

Se identificó una correlación espacial entre los puntos de mayor acumulación y zonas con mayor tránsito turístico, así como cercanía a asentamientos humanos, más específicamente en las parcelas de la zona supralitoral, este patrón confirma la hipótesis de que los factores antrópicos son determinantes en la presencia y acumulación de residuos plásticos en playas como Jambelí, además de evidenciar la capacidad de dispersión de estos residuos por la acción de mareas, corrientes y viento. Aunque, el estudio se centró en la

determinación de MaP, se observaron fragmentos en diferentes estados de degradación que podrían constituir una fuente futura de MP, lo cual deja en evidencia la necesidad de un monitoreo continuo e integrado con estudios eco toxicológicos.

Esta investigación contribuye con una línea base de datos sobre la contaminación por MaP en la playa de Jambelí, la cual es una zona de importancia ecológica y económica para la provincia de El Oro, y representa un aporte relevante para futuras investigaciones de gestión costera, planificación del turismo sostenible, planes de manejo costero, conservación marina y creación de políticas públicas de gestión ambiental.

XI. RECOMENDACIONES

- Implementar programas permanentes de monitoreo y limpieza de MaP en la playa de Jambelí, con el apoyo de la comunidad, el GAD parroquial y ONG ambientales, que permitan evaluar de forma continua la evolución de la contaminación y la efectividad de las medidas aplicadas.
- Diseñar estrategias de educación ambiental dirigidas a turistas, residentes y comerciantes, enfatizando la reducción de los plásticos de un solo uso y la adecuada disposición de residuos en la zona costera, con enfoque en economía circular.
- Fortalecer la infraestructura para la gestión de residuos sólidos en la isla, mediante la ubicación de más puntos de recolección diferenciada, campañas de separación y recolección frecuente en épocas de mayor afluencia turística, mediante campañas de concienciación, dotación de infraestructura adecuada, así como una recolección efectiva.
- Fomentar alianzas interinstitucionales entre el sector público, organizaciones ambientales y universidades, que promuevan proyectos de economía circular en comunidades costeras, especialmente en torno al reciclaje de plásticos y alternativas sostenibles.
- Realizar esfuerzos de investigación similares durante la época seca, con lo que se completaría la información de comportamiento anual de acumulación de macroplásticos en la zona de estudio.

REFERENCIAS

- [1] M. Gilbert, “Plastics Materials: Introduction and Historical Development”, en *Brydson’s Plastics Materials: Eighth Edition*, Elsevier Inc., 2016, pp. 2–18. doi: 10.1016/B978-0-323-35824-8.00001-3.
- [2] F. Galgani, G. Hanke, y T. Maes, “Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter”, en *Marine Anthropogenic Litter*, Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 29–56. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3_2.
- [3] D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, y M. Barlaz, “Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 1985–1998, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0205.
- [4] K. Bucci, M. Tulio, y C. M. Rochman, “What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review”, *Ecological Applications*, vol. 30, núm. 2, mar. 2020, doi: 10.1002/eap.2044.
- [5] T. Recabarren *et al.*, “Occurrence of marine plastic litter and plasticizers from touristic beaches of Arauco Gulf in Central Chile”, *Mar Pollut Bull*, vol. 205, ago. 2024, doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116575.
- [6] E. Schmaltz *et al.*, “Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution”, el 1 de noviembre de 2020, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.envint.2020.106067.
- [7] S. Lambert y M. Wagner, “Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: The road ahead”, el 21 de noviembre de 2017, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/c7cs00149e.
- [8] C. De Monte, M. Locritani, S. Merlino, L. Ricci, A. Pistolesi, y S. Bronco, “An In Situ Experiment to Evaluate the Aging and Degradation Phenomena Induced by Marine Environment Conditions on Commercial Plastic Granules”, *Polymers (Basel)*, vol. 14, núm. 6, mar. 2022, doi: 10.3390/polym14061111.
- [9] G. Ferraro y P. Failler, “Governing plastic pollution in the oceans: Institutional challenges and areas for action”, *Environ Sci Policy*, vol. 112, pp. 453–460, oct. 2020, doi: 10.1016/j.envsci.2020.06.015.

- [10] K. L. E. Berry *et al.*, “Plastics”, en *Marine Pollution – Monitoring, Management and Mitigation*, A. Reichelt-Brushett, Ed., Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment, 2023, Plastics, pp. 207–228. doi: 10.1007/978-3-031-10127-4_9.
- [11] Z. L. R. Botterell *et al.*, “Plastic pollution transcends marine protected area boundaries in the eastern tropical and south-eastern Pacific”, *Mar Pollut Bull*, vol. 201, abr. 2024, doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116271.
- [12] N. Abdelkader, S. Ben Ismail, y R. Zakhama-Sraieb, “Macro-, meso- and microplastic debris in three sandy beaches of north-eastern Tunisian coasts”, *Reg Stud Mar Sci*, vol. 67, dic. 2023, doi: 10.1016/j.rsma.2023.103229.
- [13] E. L. Murphy, C. Fredette-Roman, C. M. Rochman, L. R. Gerber, y B. Polidoro, “A multi-taxonomic, trait-based framework for assessing macroplastic vulnerability”, *Science of the Total Environment*, vol. 892, sep. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164563.
- [14] A. K. Roy, R. Mondal, A. Roy, S. Bhattacharyya, y P. Chaudhuri, “A quantitative comparison of macro-plastic debris between undisturbed and populous coastal ecosystems of West Bengal, India”, *Mar Pollut Bull*, vol. 202, may 2024, doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116340.
- [15] N. Gaibor *et al.*, “Composition, abundance and sources of anthropogenic marine debris on the beaches from Ecuador – A volunteer-supported study”, *Mar Pollut Bull*, vol. 154, may 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111068.
- [16] M. Shen *et al.*, “Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution?”, el 1 de agosto de 2020, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.envpol.2020.114469.
- [17] Y. Picó y D. Barceló, “Analysis and prevention of microplastics pollution in water: Current perspectives and future directions”, *ACS Omega*, vol. 4, núm. 4, pp. 6709–6719, abr. 2019, doi: 10.1021/acsomega.9b00222.
- [18] C. Mestanza, C. M. Botero, G. Anfuso, J. A. Chica-Ruiz, E. Pranzini, y A. Mooser, “Beach litter in Ecuador and the Galapagos islands: A baseline to enhance environmental conservation and sustainable beach tourism”, *Mar Pollut Bull*, vol. 140, pp. 573–578, mar. 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.02.003.

- [19] D. De Veer *et al.*, “Citizen scientists study beach litter along 12,000 km of the East Pacific coast: A baseline for the International Plastic Treaty”, *Mar Pollut Bull*, vol. 196, nov. 2023, doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115481.
- [20] B. Soledipsa, “La acelerada erosión de la playa del balneario de Jambelí (varios métodos para su regeneración)”, *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 12, núm. 1, pp. 169–176, 2004, Consultado: el 27 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1834/2286>
- [21] B. Contreras Vargas, “Análisis morfodinámico y de vulnerabilidad de la línea de costa durante el periodo 1991 - 2023 mediante geotecnologías en la Isla Jambelí, Cantón Santa Rosa, El Oro”, *Acta Oceanográfica*, vol. 6, núm. 2, pp. 65–80, 2024, doi: 10.54140/raop.v6i2.82.
- [22] J. W. Cottom, E. Cook, y C. A. Velis, “A local-to-global emissions inventory of macroplastic pollution”, *Nature*, vol. 633, núm. 8028, pp. 101–108, sep. 2024, doi: 10.1038/s41586-024-07758-6.
- [23] S. D. Loyola y J. L. Zhunaula, “Identificación y caracterización de meso- y microplásticos en tres playas turísticas de la provincia de El Oro”, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, 2022. Consultado: el 27 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19974>
- [24] J. S. Jones *et al.*, “Microplastic distribution and composition on two Galápagos island beaches, Ecuador: Verifying the use of citizen science derived data in long-term monitoring”, *Environmental Pollution*, vol. 311, oct. 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2022.120011.
- [25] A. L. Andrady y M. A. Neal, “Applications and societal benefits of plastics”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 1977–1984, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0304.
- [26] M. Streit-Bianchi, M. Cimadevila, y W. Trettnak, “Mare Plasticum-The Plastic Sea Combatting Plastic Pollution Through Science and Art”.
- [27] M. MacLeod, H. P. H. Arp, M. B. Tekman, y A. Jahnke, “The global threat from plastic pollution”, el 2 de julio de 2021, *American Association for the Advancement of Science*. doi: 10.1126/science.abg5433.

- [28] A. T. Williams y N. Rangel-Buitrago, “The past, present, and future of plastic pollution”, *Mar Pollut Bull*, vol. 176, mar. 2022, doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113429.
- [29] R. Geyer, J. R. Jambeck, y K. L. Law, “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Sci Adv*, vol. 3, núm. 7, jul. 2017, doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [30] L. Li, J. Zuo, X. Duan, S. Wang, K. Hu, y R. Chang, “Impacts and mitigation measures of plastic waste: A critical review”, el 1 de septiembre de 2021, *Elsevier Inc.* doi: 10.1016/j.eiar.2021.106642.
- [31] U. N. Environment Programme, “Marine Litter Socio Economic Study”, Nairobi, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/26014>
- [32] T. van Emmerik, “Macroplastic research in an era of microplastic”, *Microplastics and Nanoplastics*, vol. 1, núm. 1, dic. 2021, doi: 10.1186/s43591-021-00003-1.
- [33] C. Wong, “A Study of Plastic Recycling Supply Chain”, 2010. Consultado: el 3 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/36315131/A_Study_of_Plastic_Recycling_Supply_Chain_2010_A_Study_of_Plastic_Recycling_Supply_Chain
- [34] S. Lechthaler, K. Waldschläger, G. Stauch, y H. Schüttrumpf, “The way of macroplastic through the environment”, el 1 de octubre de 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/environments7100073.
- [35] C. J. Rhodes, “Plastic pollution and potential solutions”, *Sci Prog*, vol. 101, núm. 3, pp. 207–260, 2018, doi: 10.3184/003685018X15294876706211.
- [36] N. B. Hartmann *et al.*, “Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris”, *Environ Sci Technol*, vol. 53, núm. 3, pp. 1039–1047, feb. 2019, doi: 10.1021/acs.est.8b05297.
- [37] P. Kershaw, A. Turra, y F. Galgani, “Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean”, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://gesamp.org>
- [38] S. John, D. S. Brew, y R. Cottle, “Coastal ecology and geomorphology”, en *Methods of Environmental and Social Impact Assessment*, Routledge, 2018, pp. 234–297. doi: 10.4324/9781315626932-7.

- [39] Ministerio de Ambiente de Uruguay, “Ecosistema: Definición de Ecosistema. Definición de ecosistema costero y sus principales características, límites y componentes”. Consultado: el 10 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/ecosistema>
- [40] E. Hines, M. L. Jaubet, G. V. Cuello, R. Elías, y G. V. Garaffo, “Macro-, meso- and microplastic abundance in sandy beaches and factors influencing their distribution in an SW Atlantic resort”, *Mar Environ Res*, vol. 190, sep. 2023, doi: 10.1016/j.marenvres.2023.106104.
- [41] L. Fanini, O. Defeo, M. Elliott, S. Paragkamian, M. Pinna, y V. S. Salvo, “Coupling beach ecology and macroplastics litter studies: Current trends and the way ahead”, *Mar Pollut Bull*, vol. 173, dic. 2021, doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112951.
- [42] N. Rangel-Buitrago, A. Rizzo, W. J. Neal, y G. Mastronuzzi, “Sediment pollution in coastal and marine environments”, el 1 de julio de 2023, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115023.
- [43] M. Frigione, G. Marini, y M. Pinna, “A thermal analysis-based approach to identify different waste macroplastics in beach litter: The case study of aquatina di frigole natura 2000 site (it9150003, Italy)”, *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, núm. 6, mar. 2021, doi: 10.3390/su13063186.
- [44] P. Masiá, A. Ardura, M. Gaitán, S. Gerber, F. Rayon-Viña, y E. Garcia-Vazquez, “Maritime ports and beach management as sources of coastal macro-, meso-, and microplastic pollution”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, núm. 24, pp. 30722–30731, jun. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-12821-0.
- [45] T. Dalu, B. Malesa, y R. N. Cuthbert, “Assessing factors driving the distribution and characteristics of shoreline macroplastics in a subtropical reservoir”, *Science of the Total Environment*, vol. 696, dic. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133992.
- [46] S. J. Royer, S. Ferrón, S. T. Wilson, y D. M. Karl, “Production of methane and ethylene from plastic in the environment”, *PLoS One*, vol. 13, núm. 8, ago. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0200574.
- [47] J. B. Cyvin, H. Ervik, A. A. Kveberg, y C. Hellevik, “Macroplastic in soil and peat. A case study from the remote islands of Mausund and Froan landscape conservation area,

- Norway; implications for coastal cleanups and biodiversity”, *Science of the Total Environment*, vol. 787, sep. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147547.
- [48] J. D. Meeker, S. Sathyanarayana, y S. H. Swan, “Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 2097–2113, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0268.
- [49] R. C. Thompson, C. J. Moore, F. S. vom Saal, y S. H. Swan, “Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 2153–2166, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2009.0053.
- [50] D. Xanthos y T. R. Walker, “International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review”, el 15 de mayo de 2017, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.048.
- [51] G. G. N. Thushari y J. D. M. Senevirathna, “Plastic pollution in the marine environment”, el 1 de agosto de 2020, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04709.
- [52] D. Knoblauch y L. Mederake, “Government policies combatting plastic pollution”, *Curr Opin Toxicol*, vol. 28, pp. 87–96, dic. 2021, doi: 10.1016/j.cotox.2021.10.003.
- [53] A. Hira, H. Pacini, K. Attafuah-Wadee, D. Vivas-Eugui, M. Saltzberg, y T. N. Yeoh, “Plastic Waste Mitigation Strategies: A Review of Lessons from Developing Countries”, *J Dev Soc*, vol. 38, núm. 3, pp. 336–359, sep. 2022, doi: 10.1177/0169796X221104855.
- [54] A. Cheshire *et al.*, *UNEP/IOC guidelines on survey and monitoring of marine litter*. United Nations Environment Programme, Regional Seas Programme; Intergovernmental Oceanographic Commission, Integrated Coastal Area Management and Regional Programme, 2009.
- [55] B. Weneker, L. Oosterbaan, y Intersessional Correspondence Group on Marine Litter (ICGML), “Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. Edition 1.0.”, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-968>.
- [56] H. K. Burgess, C. E. Herring, S. Lippiatt, S. Lowe, y A. V Uhrin, “NOAA Marine Debris Monitoring and Assessment Project Shoreline Survey Guide. NOAA Technical

- Memorandum NOS OR&R 56”, vol. 20, 2021, doi: <https://doi.org/10.25923/g720-2n18>.
- [57] I. Chubarenko *et al.*, “From macro to micro, from patchy to uniform: Analyzing plastic contamination along and across a sandy tide-less coast”, *Mar Pollut Bull*, vol. 156, jul. 2020, doi: [10.1016/j.marpolbul.2020.111198](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111198).
- [58] F. T. Acot, R. E. Sajorne, N. A. K. Omar, P. D. Suson, L. E. E. Rallos, y H. P. Bacosa, “Unraveling Macroplastic Pollution in Rural and Urban Beaches in Sarangani Bay Protected Seascape, Mindanao, Philippines”, *J Mar Sci Eng*, vol. 10, núm. 10, oct. 2022, doi: [10.3390/jmse10101532](https://doi.org/10.3390/jmse10101532).
- [59] B. Zaman, B. S. Ramadan, A. Sarminingsih, I. B. Priyambada, y M. A. Budihardjo, “Marine and macroplastic litter monitoring and strategic recommendation for reducing pollution: case study from Semarang City”, *Archives of Environmental Protection*, vol. 49, núm. 4, pp. 37–45, 2023, doi: [10.24425/aep.2023.148684](https://doi.org/10.24425/aep.2023.148684).
- [60] F. A. Idrus, N. S. Roslan, y M. N. Harith, “Occurrence of Macro- and Microplastics on Pasir Pandak Beach, Sarawak, Malaysia”, *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, vol. 14, núm. 2, pp. 214–230, ago. 2022, doi: [10.20473/jipk.v14i2.34034](https://doi.org/10.20473/jipk.v14i2.34034).
- [61] K. I. Jeyasanta, N. Sathish, J. Patterson, y J. K. P. Edward, “Macro-, meso- and microplastic debris in the beaches of Tuticorin district, Southeast coast of India”, *Mar Pollut Bull*, vol. 154, may 2020, doi: [10.1016/j.marpolbul.2020.111055](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111055).
- [62] Z. S. M. Odli, A. J. Lee, y M. S. A. Hamzah, “Marine Macro-and Micro Plastic Litter on Beach Sediment of Northern Peninsular Malaysia”, *Journal of Advanced Research in Micro and Nano Engineering*, vol. 16, núm. 1, pp. 114–123, feb. 2024, doi: [10.37934/armne.16.1.114123](https://doi.org/10.37934/armne.16.1.114123).
- [63] D. Alvarado-Zambrano, J. R. Rivera-Hernández, y C. Green-Ruiz, “Macroplastic and Microparticle Pollution in Beach Sediments from Urias Coastal Lagoon (Northwest Mexico)”, *Toxics*, vol. 12, núm. 6, jun. 2024, doi: [10.3390/toxics12060439](https://doi.org/10.3390/toxics12060439).
- [64] N. E. Taïbi, M. E. A. Bentaallah, C. Alomar, M. Compa, y S. Deudero, “Micro- and macro-plastics in beach sediment of the Algerian western coast: First data on distribution, characterization, and source”, *Mar Pollut Bull*, vol. 165, abr. 2021, doi: [10.1016/j.marpolbul.2021.112168](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112168).

- [65] N. Z. Zahari, P. M. Tuah, M. R. Junaidi, y S. A. M. Ali, “Identification, Abundance, and Chemical Characterization of Macro-, Meso-, and Microplastics in the Intertidal Zone Sediments of Two Selected Beaches in Sabah, Malaysia”, *Water (Switzerland)*, vol. 14, núm. 10, may 2022, doi: 10.3390/w14101600.
- [66] D. Maharana *et al.*, “Assessment of micro and macroplastics along the west coast of India: Abundance, distribution, polymer type and toxicity”, *Chemosphere*, vol. 246, may 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125708.
- [67] O. Garcés-Ordóñez, L. F. Espinosa Díaz, R. Pereira Cardoso, y M. Costa Muniz, “The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean”, *Mar Pollut Bull*, vol. 160, nov. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111558.

ANEXOS



Fig. 12. Cartel informativo y recipientes diferenciados para la clasificación de desechos sólidos, ubicados estratégicamente en la entrada principal a la isla Jambelí, como parte del sistema de gestión ambiental local.



Fig. 13. Carteles ubicados en la entrada de Jambelí que informan sobre las normas ambientales aplicables a turistas de la playa de Jambelí.



Fig. 14. Implementación y ajuste de las guías de monitoreo de desechos marinos (PNUMA/COI, OSPAR, NOAA) durante la jornada piloto en la playa de Jambelí.



Fig. 15. Proceso de muestreo de arena en los sitios seleccionados durante el protocolo establecido en la visita piloto, playa de Jambelí, para análisis de macroplásticos.



Fig. 16. Proceso de secado de muestras de arena húmeda mediante horno a temperatura estandarizada.



Fig. 17. Muestras secas preparadas para el proceso de tamizado tras el secado en horno.



Fig. 18. Proceso de tamizado de las muestras de arena para la separación de macroplásticos, seguido del almacenamiento de los residuos plásticos recuperados para su posterior caracterización.



Fig. 19. Digitación de la información recolectada sobre los macroplásticos en la base de datos.